

木歩道橋設計・施工に関する技術資料

平成 15 年 10 月

財団法人 国土技術研究センター

序 文

古来、我が国の橋梁の多くは「木橋」であった。しかし、戦後の急激なモータリゼーションの進展の結果、橋梁には自動車の荷重に耐えることが求められるようになり、「木橋」に代わって、安全性、耐久性、経済性に優れた「鋼橋」や「コンクリート橋」が橋梁の主流になった。

一方、木材構造物についても集成材技術の向上や防腐処理技術の改善などの技術革新が進み、また、景観形成や人に優しい施設整備等における木材の優位性が見直され、近年では林道や公園施設などに木橋を活用する事例が増えつつある。

とりわけ、地域振興が喫緊の課題となっている山間地等では、自然と調和した個性ある道づくりによる地域観光の振興と併せて、地場産業である林業の活性化にも寄与することを目指して、歩道橋などに木材を活用する取り組みが始まっている。

このような状況を踏まえて、国土交通省では平成6年度に（財）国土開発技術研究センター（当時）内に「木橋技術基準検討委員会」を設置し、技術的な検討を進め、平成9年度に歩道橋を木橋として設計・施工する際の技術基準（案）をとりまとめた。

さらに平成10年から平成14年にかけて、この基準（案）を検証するとともに、「木橋」特有の課題である維持・管理のあり方についても検討することを念頭において、（財）国土技術研究センターではモデル橋の耐久性や維持管理状況を調査した。

以上のような作業を経て、今回、「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」をとりまとめることができた。

先に述べたように、「鋼橋」や「コンクリート橋」と比べれば、「木橋」は経済性、耐久性などの面で技術的課題が残されているものの、自然との調和や景観形成など質の高い公共施設の整備が求められる中で、木材が重要性を増していることも事実である。

長期間、本技術資料の作成にご尽力いただいた委員各位、ご協力をいただいた多くの関係各位に深く感謝の意を表するとともに、本技術資料が木橋技術の発展と木橋の普及促進に寄与するものとなることを期待する。

平成 15 年 10 月

木橋技術基準検討委員会
委員長 三 木 千 寿

木橋技術基準検討委員会名簿

委員長	○三木 千壽	東京工業大学工学部土木工学科	教授
委員	○薄木 征三	秋田大学鉱山学部土木環境学科	教授
〃	○西川 和廣	建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室	室長
〃	○小松 幸平	京都大学木質科学研究所	助教授
〃	○鈴木憲太郎	林野庁森林総合研究所海外森林資源保全研究チーム	チーム長
〃	○村山 一弥	建設省道路局企画課	課長補佐
〃	石井 一生	建設省道路局企画課	課長補佐
〃	木谷 信之	建設省道路局企画課	課長補佐
〃	○森 望	建設省道路局国道課道路整備調整室	課長補佐
〃	菊池 春海	建設省道路局国道課道路整備調整室	課長補佐
〃	岩崎 泰彦	建設省道路局国道課道路整備調整室	課長補佐
〃	○甲村 謙友	建設省道路局地方道課市町村道室	室長
〃	岡山 和生	建設省道路局地方道課市町村道室	室長
〃	桂樹 正隆	建設省道路局地方道課市町村道室	室長
〃	○藤森 祥弘	建設省道路局地方道課市町村道室	建設専門官
〃	福井 孝	建設省道路局地方道課市町村道室	建設専門官
〃	○有野 充朗	建設省道路局地方道課市町村道室	課長補佐
〃	山内 正彦	建設省道路局地方道課市町村道室	課長補佐
〃	三浦 真紀	建設省道路局地方道課市町村道室	課長補佐
〃	○矢部 三雄	林野庁林産課	課長補佐
〃	長江 恭博	林野庁林産課	課長補佐
〃	山崎 信介	林野庁林産課	課長補佐
〃	前川 秀和	大分県土木建築部道路課	課長
〃	○井上 芳明	大分県土木建築部道路課道路整備促進室	室長
〃	酒井 英臣	大分県土木建築部道路課道路整備促進室	室長
〃	○川越 良馬	鹿児島県土木部道路維持課	課長
〃	牧迫 洋忠	鹿児島県土木部道路維持課	課長
〃	○中尾 健三	串木野市建設部都市建設課	課長
〃	○森野 楯夫	高知県土木部高速道推進課	課長
〃	○矢野 富夫	梶原町産業建設課	課長
事務局	○(財)国土開発技術研究センター	研究第二部	
オブザーバー	○酒井 洋典	(社)日本橋梁建設協会	
〃	○植野 芳彦	(株)長大	
〃	○原田 浩司	木橋技術協会	

○印は平成9年度当時の委員

とりまとめにあたって

「木歩道橋設計・施工に関する技術資料」は、近年の木構造技術の進歩を踏まえ、大分県、高知県梶原町、鹿児島県串木野市より受託したモデル木橋に関する業務成果をもとに、歩道橋を木橋として設計・施工し、更に点検・管理する際の技術資料としてとりまとめたものである。

本技術資料は「設計・施工編」及び「実験編」より構成され、歩行者専用道路、自転車専用道路、及び歩行者自転車専用道路（横断歩道橋や歩車道一体橋は除く）について、木歩道橋として整備する場合に適用すべく作成したものである。

「設計・施工編」では、木歩道橋に関する技術的課題を整理し、荷重、使用材料、許容応力度等の基本的な事項についてとりまとめるとともに、構造、支承部、橋梁用防護柵等の設計・施工について記述している。

また、「実験編」では、方杖ラーメン（大分県）、アーチ（串木野市）、トラス（梶原町）について、接合部、ラーメン隅角部、接着、トラスパネル等の実験を行い、その結果をとりまとめている。

さらに、建設完了後の日常の点検や管理の考え方についてとりまとめた参考資料を巻末に添付している。

本技術資料は、あくまで現状の技術水準についてとりまとめた研究成果であり、安全率の設定、接合構造の効率化、コスト縮減のほか、維持・管理方法の確立について、今後も継続的な技術的検討を重ねることが木橋技術の発展と確立のため必要である。

このような認識の下、木歩道橋の設計・施工や、維持・管理に携わる技術者が、本技術資料を活用しつつ、それぞれの現場において出来る限りの創意工夫を凝らすことを期待する。

最後に、本研究において、ご指導をいただいた三木千壽教授をはじめとする委員会メンバー各位、並びに、関係者各位に心から感謝の意を表すものである。

平成 15 年 10 月

財団法人 国土技術研究センター
理事長 井 上 啓 一

総目次

第 1 編 設計・施工編

第 2 編 実験編

参考資料 点検・管理

第 1 編 設計・施工編

目 次

第 1 章 総則	1- 1
1. 1 適用の範囲	1- 1
1. 2 用語の定義	1- 2
1. 3 設計一般	1- 2
1. 3. 1 設計の基本	1- 2
1. 3. 2 樹種の選定	1- 3
1. 3. 3 構造形式	1- 3
第 2 章 荷重	1- 4
2. 1 荷重の種類	1- 4
2. 2 死荷重 (D)	1- 5
2. 3 活荷重 (L)	1- 5
2. 4 高欄に作用する水平力 (HR)	1- 6
2. 5 プレストレス力 (P S)	1- 6
2. 6 風荷重 (W)	1- 8
2. 7 温度変化の影響 (T)	1- 8
2. 8 地震の影響 (E Q)	1- 8
2. 9 含水率の変化の影響 (MC)	1- 9
2. 10 雪荷重 (S W)	1- 10
2. 11 地盤変動及び支点移動の影響 (G S D)	1- 10
2. 12 施工時荷重 (E R)	1- 10
2. 13 荷重の組合せ	1- 11
第 3 章 使用材料	1- 12
3. 1 構造用製材	1- 12
3. 2 構造用集成材	1- 12
3. 3 構造用合板	1- 12
3. 4 L V L	1- 13
3. 5 その他の材料	1- 14
3. 6 構造用金物	1- 14
3. 6. 1 鋼材	1- 14
3. 6. 2 接合具	1- 14
3. 6. 3 接合金具の防錆処理	1- 17
3. 7 コンクリート	1- 17
3. 8 接着剤	1- 17
第 4 章 許容応力度等	1- 18
4. 1 調整係数	1- 18
4. 2 木質材料の許容応力度および弾性係数とその増減	1- 19
4. 2. 1 構造用製材	1- 19
4. 2. 2 構造用集成材	1- 23
4. 3 構造用製材の許容応力度	1- 24
4. 3. 1 一般	1- 24
4. 3. 2 針葉樹製材の繊維方向の許容応力度	1- 25
4. 3. 3 広葉樹製材の繊維方向の許容応力度	1- 26

4.3.4	木材の繊維直交方向の許容圧縮応力度	1- 26
4. 4	構造用集成材の許容応力度	1- 28
4. 5	構造用合板の許容応力度	1- 32
4. 6	LVLの許容応力度	1- 38
4. 7	鋼材の許容応力度	1- 39
4. 8	コンクリートの許容応力度	1- 39
第5章	構造設計	1- 40
5. 1	総則	1- 40
5.1.1	構造計画	1- 40
5.1.2	構造解析の方法	1- 40
5.1.3	部材断面の検討	1- 41
5.1.4	たわみの許容値	1- 41
5.1.5	変形，振動等に対する検討	1- 41
5. 2	引張材	1- 42
5. 3	圧縮材	1- 44
5.3.1	単一圧縮材	1- 44
5.3.2	複合圧縮材	1- 53
5.3.3	支圧力に対する考慮	1- 58
5. 4	曲げ材	1- 58
5.4.1	横座屈	1- 58
5.4.2	寸法調整係数	1- 61
5.4.3	単一曲げ材	1- 62
5.4.4	重ね梁および重ね透かし梁	1- 68
5.4.5	テーパー材（集成材）	1- 69
5.4.6	湾曲材（集成材）	1- 70
5. 5	複合応力を受ける材	1- 73
5. 6	接合部の設計	1- 75
5.6.1	総則	1- 75
5.6.2	釘	1- 81
5.6.3	ドリフトピン	1- 84
5.6.4	ボルト	1- 89
5.6.5	ジベル	1- 97
5.6.6	ラグスクリュー	1-102
5.6.7	接着接合	1-104
5.6.8	実験による接合具の許容耐力	1-108
5. 7	床板	1-108
5.7.1	床版の支間	1-108
5.7.2	床版の設計曲げモーメントとせん断力	1-110
5.7.3	許容応力度増減	1-110
5.7.4	桁端部の床版	1-110
5.7.5	プレストレス木床版	1-111
5. 8	桁構造	1-113
5.8.1	一般	1-113
5.8.2	対傾構	1-114
5. 9	トラス構造	1-115
5.10	アーチ構造	1-116
5.11	ラーメン構造	1-116
5.11.1	一般	1-116

5.11.2	構造解析	1-117
5.11.3	基礎構造の影響	1-117
5.11.4	ラーメンの全体座屈	1-117
5.11.5	ラーメン橋のたわみ	1-117
5.11.6	隅角部	1-117
5.12	木造下部工	1-118
5.13	屋根付き構造	1-118
第6章	支承部・橋梁用防護柵等	1-119
6.1	支承部	1-119
6.1.1	一般	1-119
6.1.2	支承の形式	1-119
6.1.3	固定支承	1-119
6.1.4	構造細目	1-120
6.2	地覆および橋梁用防護柵	1-120
6.3	排水等	1-121
6.4	橋面舗装	1-121
6.5	点検施設等	1-121
6.6	付属施設	1-121
6.7	添架物	1-122
第7章	防腐耐久設計	1-123
7.1	木材の防腐・防虫	1-123
7.1.1	防腐・防虫の原則	1-123
7.1.2	防腐・防虫の処理と耐用年数	1-125
7.2	接合部の防腐，防錆	1-130
7.3	構造的耐久性設計	1-132
7.3.1	水仕舞	1-132
7.3.2	紫外線対策	1-134
7.4	保守・点検・管理	1-134
第8章	防火設計	1-135
8.1	防火設計の基本	1-135
8.2	防火設計の方法	1-135
8.2.1	木材断面	1-135
8.2.2	防火被覆設計	1-135
8.2.3	接合部の防火処理	1-135
第9章	施工	1-136
9.1	一般	1-136
9.2	検査	1-136
9.3	工場製作	1-136
9.4	製作そり	1-137
9.5	輸送など	1-138
9.6	部材の仮置き、仮設備および架設用器材の安全	1-138
9.7	架設	1-138
9.8	応力調整	1-139
9.9	塗装	1-139

第 1 章 総 則

1.1 適用の範囲

- (1) 本編は、木材または木質材料を主要構造部材とする木歩道橋（以下、「木橋」という。）の主に上部構造の設計および施工に適用するものである。本編に示されていない事項は、「道路橋示方書・同解説」によるものとする。
- (2) 木橋は、適切な方法により定期的に維持管理を実施することにより耐久性の向上が図られるが、使用目的および使用形態によって、適切な耐用年数を設定することが望ましい。

- (1) 国内における木橋に係わる技術基準としては、昭和 15 年に公布された内務省「木道路橋設計示方書案」があるが、それ以降国内においては、木橋としての技術基準は特に改良、発展せず整備されていない。しかしながら、建築構造物および国内での木橋においては、集成材技術の向上や防腐処理技術の改善等に応じ、大規模木造構造物の実績の増加とともに、技術基準類の整備が為されてきている。

本編はこのような背景のもと、最近の大規模木造構造物に係わる技術の進歩を踏まえて、主に木歩道橋を対象とした設計および施工に適用するものである。

木質材料以外による各部材ならびに下部構造の設計・施工にあたっては、「道路橋示方書・同解説」に定められた規定を適用するものとするが、木質材料を主体とした橋脚構造については、「道路橋示方書・同解説（IV 下部構造編）」のほか、本編に従うことが望ましい。また、本編および「道路橋示方書・同解説」に記述されていない事項については、必要に応じて関連する技術基準類等を参考に検討することが望ましい。

本編の作成にあたっては、「道路橋示方書・同解説」を基本とし、歩道橋に関する項目については、「立体横断施設技術基準・同解説」および「小規模吊橋指針・同解説」を参考とした。また、木質構造材の材料特性、設計方法については、「木質構造設計規準・同解説」（（社）日本建築学会）及び「木橋設計施工の手引き」（（財）日本住宅・木材技術センター）を参考とした。

- (2) 防腐処理を必要とする木質材料を用いた木橋は、その建設時の処理のみでは 10 年程度の耐用が限界であり、鋼またはコンクリート材料を用いた橋梁より耐久性が著しく劣る。しかしながら、十分な維持管理を実施することにより、鋼またはコンクリート材料を用いた橋梁と同等の耐用年数を期待することができる。

1.2 用語の定義

(1) 木橋 (Timber Bridge)	上部構造を構成する主部材が木質材料からなる橋
(2) 製材 (Lumbering)	天然の丸太または大型の木材より所要の寸法の木材に切断した材
(3) 集成材 (Glued Laminated Timber)	ひき板の繊維方向を互いに平行にし、合成樹脂接着剤で接着積層した一つの材
(4) 構造用合板	合板のうち建造物の構造耐力上主要な部分に使用するもので、品質表示がなされたもの
(5) 単板積層材、LVL (Laminated Veneer Lumber)	ロータリーレース、スライサー等により切削した単板を、その繊維方向を互いにほぼ平行にして接着積層した構造材
(6) ひき板、ラミナ (Lamina)	集成材の各層を構成する板材
(7) 重ね梁 (Built-up beam)	平行主材の間をつなぎ材で止めつけた梁
(8) 重ね透かし梁	重ね梁のうち、平行主材の間にかい木 (飼木：間隔・隙間調整や材の固定を容易にするため、材と材の間に配置する材) を用いた梁
(9) テーパー材	材のせい (成：部材の下端から上端までの鉛直距離) を材軸に沿って直線的に変化させた構造材
(10) 湾曲材	材の中心軸が曲線をなすよう積層された構造材

1.3 設計一般

1.3.1 設計の基本

木橋構造物は、その使用目的に適合し、安全性を十分確保することはもとより、橋梁の耐用年数を通じた経済性にも留意し、環境との調和を考慮することが望ましい。

このため、設計にあたっては、強度・変形・安定・耐久性・美観などについて検討を行うことが望ましい。また、構造の各部はなるべく簡単にし、製作、運搬、架設、検査、塗装、排水、維持管理などが容易となるように配慮することが望ましい。

木橋の設計における基本方針を示したものである。本編に従って設計を進める際には、この条に示す基本方針の主旨に留意して検討作業を行うことが望ましい。特に木橋の場合、接合部が変形するため、適切に接合部の剛性（回転ばね、軸ばね、せん断ばね）を評価す

る必要があることに留意することが望ましい。

また、複雑な構造を採用すると、製作・運搬・架設・検査・塗装・排水・維持管理などに支障が生じることも考えられ、さらに設計計算も煩雑となり、予期しない大きな二次応力等が生じる可能性もあるので、構造の各部はなるべく簡潔なものがよい。そのためには、構造用集成材や集成材パネル床版を使用することが望ましい。

1.3.2 樹種の選定

樹種の選定にあたっては、その対象として桧・松・杉などの国産材はもとより国外材も含めるものとし、計画する木橋の立地環境・安全性・経済性・耐久性・美観・施工性・維持管理の容易さなどを総合的に考慮することが望ましい。

樹種選定は、木橋の安全性および経済性に大きく影響するものであり、景観ならびに環境への配慮も含め十分に留意することが望ましい。

1.3.3 構造形式

木橋の構造形式は、要求される支間長、幅員、荷重の大きさ、交差条件、用途、環境などを考慮して適切に選ぶことが望ましい。

現在、最も一般的に使われている橋種は鋼橋ならびに鉄筋コンクリート橋であるが、もともと鋼橋は木橋から、また、コンクリート橋は石橋から発達したと考えられ、規模の差はあるが、現在の鋼橋に用いられている形式は、殆ど総て過去の木橋にその例が見られる。即ち、桁橋、方杖桁橋、トラス橋、アーチ橋、斜長橋、吊橋などがあげられる。

したがって、木橋の構造形式は、基本的には鋼橋や鉄筋コンクリート橋のそれと同様に計画、選定することができる。また、要求される橋梁規模、荷重もしくは構造デザインによっては、鋼材料およびコンクリート材料との複合構造を採用することが望ましい場合も考えられる。その場合には、木質材料と他材料との接合および定着構造の安全性・信頼性について十分検討することが望ましい。

第2章 荷 重

2.1 荷重の種類

設計にあたっては、次の荷重を考慮することが望ましい。

主 荷 重 (P)	1. 死 荷 重 (D)
	2. 活 荷 重 (L)
	3. 高欄に作用する水平力 (HR)
	4. プレストレス力 (PS)
従 荷 重 (S)	5. 風 荷 重 (W)
	6. 温度変化の影響 (T)
	7. 地震の影響 (EQ)
	8. 含水率変化の影響 (MC)
主荷重に相当する	9. 雪 荷 重 (SW)
特 殊 荷 重 (PP)	10. 地盤変動及び支点移動の影響 (GSD)
	11. 施 工 時 荷 重 (ER)

木橋を設計するときに考慮すべき荷重の種類を列挙したものである。本条文に示す以外の荷重については「道路橋示方書・同解説（I共通編）」によるものとする。

〈参考基準類〉道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術基準・同解説

2.2 死荷重 (D)

死荷重の算出には表-2.2.1に示す単位重量を用いるものとする。ただし、実重量の明らかなものはその値を用いるものとする。

表-2.2.1 材料の単位重量 (kN/m³)

材 料	単位重量
木 材	8.0
鋼 ・ 鋳 鋼 ・ 鍛 鋼	77.0
鋳 鉄	71.0
ア ル ミ ニ ウ ム	27.5
鉄 筋 コ ン ク リ ー ト	24.5
プレストレストコンクリート	24.5
コ ン ク リ ー ト	23.0
セ メ ン ト モ ル タ ル	21.0
瀝 青 材 (防 水 用)	11.0
ア ス フ ェ ル ト 舗 装	22.5

木材の単位重量 8.0kN/m³は、釘、ボルト、ナット、座金およびラグスクリューなどの金具類を含む平均的単位重量である。集成材の場合は15%以下の含水率で製作され、大気中に放置されても含水率が20%を越えることはまれである。したがって、含水率20%での使用樹種の単位重量がわかり、かつ金具類の全重量も把握できる場合は、実単位重量が算出できるので、単位重量としては実単位重量を用いることが望ましい。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説

2.3 活荷重 (L)

活荷重は次のとおりとする。

床版および床組を設計する場合 5.0kN/m²

主げたを設計する場合 3.5kN/m²

他の荷重を考慮する必要がある場合は、別途その荷重を考慮すること。

群集荷重としては7.0kN/m²まで測定された例があるが、一般には特に混雑しているときでも5~7人/m²であるので、主げたに対しては上記の値とした。床版および床組に対しては、安全を考慮して5.0kN/m²とした。歩道橋は比較的にスレンダーな構造となりやすいので、このような場合、荷重の偏載による影響を検討しておくことが望ましい。

主げたを支持する橋脚や階段のはりなど主構造と考えられるものについては、3.5kN/m²

で設計してよい。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術基準・同解説

2.4 高欄に作用する水平力（HR）

高欄は、その頂部に水平方向に 2.5kN/m の水平力が作用するものとして設計する。
この場合、許容応力度については割増しを行わない。

橋面上に群集が密集する場合には、高欄に大きな水平力が働く可能性があるので、危険防止のため防護柵設置要綱に従い上記の値とした。

高欄に作用する水平力は、主として高欄を設計するための荷重であり、主げたや橋脚などの設計には考慮する必要はない。ただし、床版および床組については高欄に作用する水平力と荷重の組合せに対して安全性を照査しなければならない。

また、高欄上に人間が乗ったり、重量物をのせたりする可能性もあるので、高欄の設計には、ある程度の鉛直荷重（1.0～1.5kN/m）を考慮することが望ましい。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術基準・同解説、
防護柵の設置基準・同解説

2.5 プレストレス力（PS）

(1) プレストレス力一般

構造物にプレストレス力を導入する場合には、これを適切に考慮することが望ましい。その具体については「道路橋示方書・同解説（I 共通偏）」の 2.2.4 を準用するのがよい。

(2) 木床版のプレストレス力

木床版にプレストレス力を導入する場合には、これを適切考慮することが望ましい。

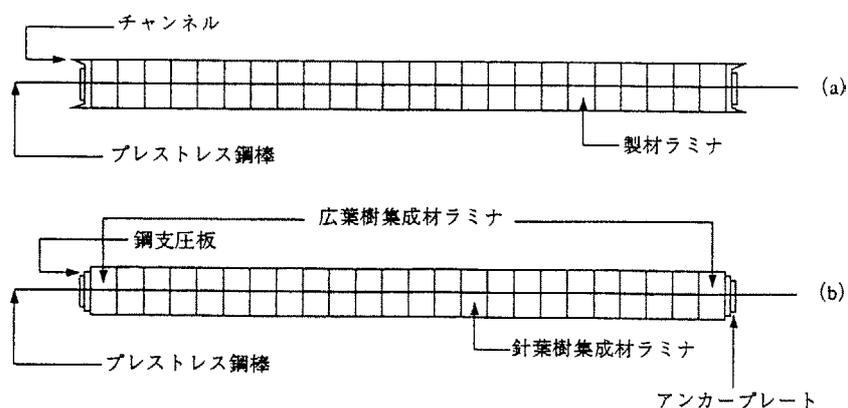
1) プレストレス力は木材繊維に直角方向に導入し、繊維方向の軸回りの曲げおよびせん断に抵抗できる力を導入する。

2) プレストレス直後のプレストレス力は、木材のクリープによって、原則として 60% が失われるものとする。

3) 橋軸直角方向にプレストレス力を導入する場合には、橋軸直角方向に車軸中心の T 荷重載荷位置において、ほぼ一様な圧縮力分布が得られるようにプレストレ

ス鋼棒を配置することを標準とする。

(2) プレストレス木床版を対象とした規準であり、主にオンタリオ州道路局およびウイスコンシン州立大と FPL（アメリカ木産研究所）の研究による。木床版の典型例を下図に示す。



図一解 2.5.1 プレストレス木床版の例

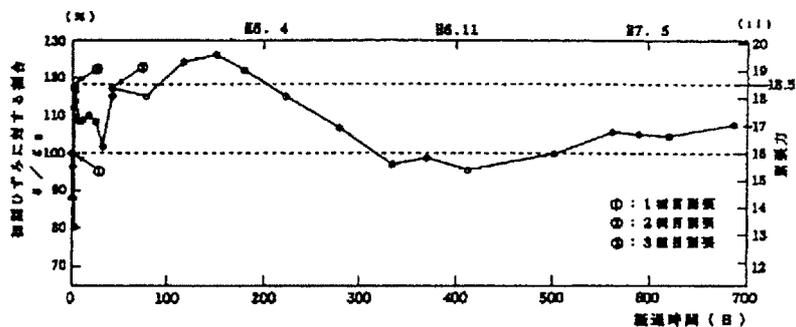
図の (a) の形式はカナダで考案されたものであり、本来トラス橋の床版補修のための構造であった。すなわち、水平方向に釘を打ちつけて製材ラミナを束ね、床版としていた (Nail Laminated Wood Deck) ものが、交通量の増加などによって層の剥離 (Delamination) をきたし、これを補修するためプレストレス鋼棒を挿入し、プレストレス力により締め直してきたのである。その後単独の床版橋あるいはラーメン橋などとして採用されるに至っている。

図 (b) はアメリカで開発された構造であり、製材ラミナを使用せず集成材ラミナとしていていること、床版端のラミナはオークなどの広葉樹ラミナとし、これによってチャンネルの代わりに支圧板としていることに特徴がある。

集成材であるから、含水率は 15% 以下で工場出荷される。よって特に水溶性防腐剤を加压注入した場合、徐々に大気中の水分を吸収して平衡含水率に到達するので、ラミナの繊維直角方向への膨潤が生じる。これによって木材のクリープが緩和され、プレストレス力の減少は小さいとされる。

2) の規準は含水率 19% 以下に乾燥した製材ラミナを用いた木床版のプレストレス力の実測から得られたものである。これ以上の含水率のラミナを用いた場合は、クリープとともに自然乾燥によってラミナの繊維直角方向への収縮が生じる。そのため平衡含水率に到達するまで定期的に再プレストレスを行う必要がある。また、国内においては薄木らの実

測データ 1) があり、図一解 2.5.2 に示すように初期プレストレス力の 60%が失われると考えることにより安全側の設計となることが確認されている。



図一解 2.5.2 ひずみ変動の経時変化

- 1) プレストレス木床版の力学的物理的諸性状の経時変動、薄木征三、清水功雄、長谷部薫、構造工学論文集 Vol.42A, 1996年3月

〈参考規準類〉 道路橋示方書・同解説、オンタリオ州（カナダ）道路局基準

2.6 風荷重 (W)

「道路橋示方書・同解説 (I 共通編)」の 2.2.9 を準用する。

2.7 温度変化の影響 (T)

木材の熱膨張は水分による膨張よりはるかに小さい。繊維方向の線膨張係数は樹種によらず鋼より一桁程度小さい。また熱伝導率も小さいため熱膨張は無視してよい。

木材の線膨張係数は、ほぼ一定で 3.5×10^{-6} 程度である。また、気乾状態で 20°C における熱伝導率は、 $0.08 \sim 0.14 \text{ kcal/m} \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ($0.093 \sim 0.1628 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) 程度で鋼の約 1/500 である。

支間長が大きいタイドアーチのタイなどが鋼製の場合、鋼の温度変化による伸縮が主構の断面力に与える影響について考慮することが望ましい。

2.8 地震の影響 (EQ)

地震の影響については、必要に応じて設計に考慮するものとする。

一般に木橋では自重が小さいため、地震が問題となる場合はほとんどなく、風荷重が支配的となり、橋軸方向を除いて地震の影響は小さいと考えられる。しかしながら、コンクリート材料または鋼材料との複合構造形式等については、地震の影響を「道路橋示方書・

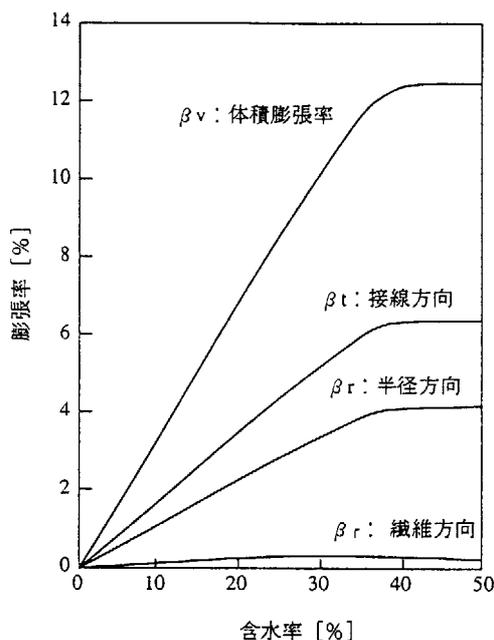
同解説（IV耐震設計編）」に準じて設計に考慮する必要がある。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説

2.9 含水率の変化の影響（MC）

集成材は含水率 15%以下で製作されるが、自然界に曝されると空気中の含水率と平衡を保とうとする性質があり、空気中における木材の含水率は年間でおよそ最小 10%から最大 20%をとる。よって水溶性の防腐剤によって処理された主構造部の場合、含水率の変化による繊維方向の伸縮を考慮する。

図一解 2.9.1 にあかまつの膨張率と含水率の関係を示す。図の β_l の曲線から単位含水率あたりの木材膨張率を求め、含水率の変化による繊維方向の伸縮を考慮し、断面力の算定を行う。他の樹種についても同様である。



図一解 2.9.1 含水率と膨張率の関係

なお、木材表層部の含水率が変化したとしても材内部にまでおよばないことが多い。この場合、繊維方向の伸縮を正確に算定することは困難であるが、安全側で、かつ、過大としない評価方法をとることが望ましい。

2.10 雪荷重（SW）

雪荷重を考慮する必要がある地域においては、活荷重を載荷する場合の雪荷重は 1.0kN/m^2 を標準とし、積雪が特に多いことから、活荷重を載荷せず雪荷重だけを載荷する場合には、架設地点の実情に応じて適切な値を定めるものとする。

道路橋示方書 共通編 2.2.12 に準じた。

積雪がある程度以上になれば、規定の活荷重が通行する機会はきわめて少なくなる。したがって、規定の活荷重のほかにとるべき雪荷重としては、 1.0kN/m^2 （圧縮された雪で15cm厚）を考慮すれば十分と考えられる。ただし、特殊な場合で 1.0kN/m^2 以上を考慮する必要があるときには調査した資料等によってこれよりも大きな雪荷重を考慮するのが望ましい。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術基準・同解説

2.11 地盤変動および支点移動の影響（GSD）

(1) 下部構造に対する地盤変動の影響

下部構造完成後、基礎地盤の圧密沈下などによる地盤変動が予想されるところでは、この影響を考慮するものとする。

(2) 上部構造に対する支点移動の影響

不静定構造物において、地盤の圧密沈下などのため長期にわたり生じる支点の移動および回転影響を考えなければならない場合には、その最終移動量を推定して断面力を算出することが望ましい。断面力の算出は弾性計算によってもよい。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説

2.12 施工時荷重（ER）

設計時には、施工方法と施工中の構造を考慮して、自重、施工機材、風などの影響に対して必要な検討を行わなければならない。

施工時荷重とは橋の施工時に作用する荷重である。これによる応力は施工方法によっては施工後の状態とはまったく異質なものであったり、施工後の応力よりも大きな値を示すことがある。したがって、設計時において、施工方法と施工中の構造とを考慮して、自重、施工機材、風、温度変化などを考慮するように規定した。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説

2.13 荷重の組合せ

橋の設計は表-2.13.1の荷重の組合せのうち、もっとも不利な組合せについて行うことが望ましい。

表-2.13.1 荷重の組合せ

荷 重 の 組 合 せ	
上 部 構 造	1. 死荷重 (DL)
	2. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL)
	3. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 積雪荷重 (SL)
	4. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 風荷重 (W)
	5. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 地震の影響 (EQ)
	6. 風荷重 (W)
	7. 施工時荷重 (ER)
下 部 構 造	1. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL)
	2. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 積雪荷重 (SL)
	3. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 風荷重 (W)
	4. 死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 地震の影響 (EQ)
	5. 施工時荷重 (ER)

この条は、同時に作用する可能性が高い荷重の組合せのうち、構造物および各部材に不利な影響を与える組合せを「道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編）」の2.2で規定する組合せに対し、2.1で示す荷重に限定し示したものである。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説

第3章 使用材料

3.1 構造用製材

(1) 構造用製材の品質

木橋の主要構造部材に使用する製材の品質は、原則として針葉樹にあつては針葉樹の構造用製材の日本農林規格（以下、JAS という。）（平成3年1月31日 農林水産省告示第143号）、広葉樹にあつては製材等のJAS（昭和56年3月19日 農林水産省告示第406号）を満たすものとする。

(2) 使用する製材の等級

木橋には、原則としてJASの1級または2級の製材を用いることとし、3級材は原則として使用してはならない。

(3) 製材の含水率

針葉樹製材の平均含水率は、原則として20%以下とする（JASにおけるD15、D20）。

(2) 3級材は信頼性の点から現在では木橋には適当でないと考えた。信頼性が増し、3級材に対しても許容応力度が認められた時点では、(2)はこの限りではない。なお、広葉樹にあつては、JASの等級が特等、1等、2等となっているので、特等または1等の製材を用いることが望ましい。

〈参考基準類〉 日本農林規格

3.2 構造用集成材

構造用に使用する集成材は、原則として構造用集成材のJAS（平成8年1月29日 農林水産省告示第111号。ただし、広葉樹は集成材のJAS）に適合する品質を有するものとする。

構造用集成材の等級はヤング係数と曲げ強さによって分類されている。

〈参考基準類〉 日本農林規格

3.3 構造用合板

(1) 構造用合板の品質

構造用に使用する合板は、原則として構造用合板のJAS（昭和61年9月20日 日本農林水産省告示第1639号）に適合する品質を有するものとする。JASによらな

い合板の許容応力度などは計算または実験から求める。

(2) 使用可能な合板の等級

原則として JAS 規格の特類合板を用いることとする。

(3) 木橋部材として使用可能な範囲

木橋の主要構造部材としては、原則として使用してはならない。

合板が木橋の構造部材として使用される場合は、含水率 20%を超える可能性が高いため、特類合板を使用するのが望ましい。構造用合板の使用方法は、単体での使用だけではなく、ボックスビームやパネルなどあらゆる使用方法、部位が考えられるが、屋外耐久性、クリープ性能などに未確認の部分が多いため木橋の主要構造部材に使用する場合には、適切な使用方法および評価方法によって構造部材として妥当な性能を有すると判断される場合に限るものとする。

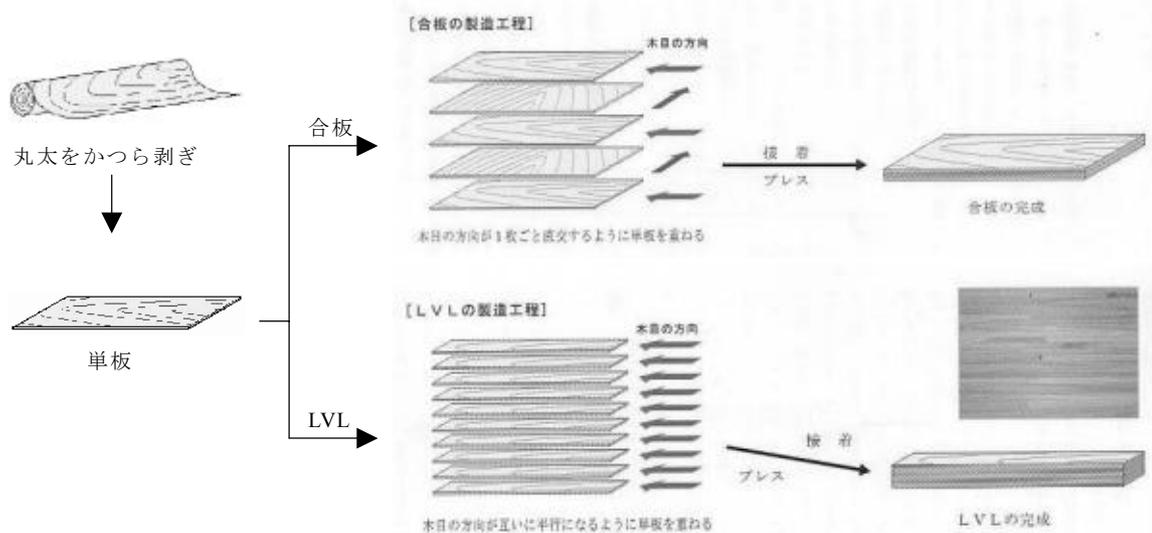
〈参考基準類〉 日本農林規格

3.4 LVL

木橋に使用される構造用 LVL は、原則として構造用単板積層材の JAS（昭和 63 年 9 月 14 日、農林水産省告示第 1443 号）に適合する品質を有するものとする。

LVL とは単板積層材（Laminated Veneer Lumber）の頭文字を取ったものである。図一解 3.4.1 に LVL と合板の製造過程の違いを示す。合板と異なるのは、単板を繊維方向に積層接着する点である。

なお、構造用 LVL の場合は集成材と異なり、「曲げヤング係数区分」と「せん断性能区分」の 2 種類の区分表によって、該当する等級の許容応力度が決められている。



図一解 3.4.1 LVL の製造過程

〈参考基準類〉 日本農林規格

3.5 その他の材料

3.1～3.4 以外の材料で、規格が定められているものまたは適切な試験方法および評価方法によって、構造用として満足する性能を有すると判断されるものは、構造材料として使用することができる。

〈参考基準類〉 日本農林規格

3.6 構造用金物

3.6.1 鋼材

道路橋示方書・同解説（I 共通編）の 3.1 を準用する。

3.6.2 接合具

(1) 釘

接合に用いる釘は、原則として日本工業規格（以下、JIS という。）の JIS A 5508 に規定される品質を有するものとする。

(2) ボルト

接合に用いるボルト及びナットは、原則としてそれぞれ JIS B 1180 および JIS B 1181 に規格される品質を有するものとする。

(3) ドリフトピン

接合に用いるドリフトピンは、JIS G 3101 に規定された SS400 相当の鋼棒から切り出されたものを標準とする。

(4) ラグスクリュー

ラグスクリューは鋼材を介した接合に用いるものとし、その材質は原則として JIS G 3507 に規定された SWRCH10R 相当を標準とする。

(5) ジベル接合—スプリットリングおよびシャーププレート接合

1) スプリットリングおよびシャーププレートの品質と寸法

材質および形状が規格化されたスプリットリング（直径 64mm、102mm）およびシャーププレート（直径 67mm、102mm）を用いた接合に適用するものを標準とする。

2) 座金の寸法

スプリットリングおよびシャーププレート接合に使用するボルトの直径および座金の寸法・厚さは表-3.6.2 によるものを標準とする。

表-3.6.2 スプリットリング及びシャーププレート接合用ボルトの直径と座金の寸法 (mm)

種類	ボルトの直径	角座金の1辺の長さ	丸座金の直径	厚さ
64mm スプリットリング	12	50	60	4.5
67mm シャーププレート	20	70	80	6.0
102mm スプリットリング	20	70	80	6.0
102mm シャーププレート	20	70	80	6.0

(1) 接合法は図-解 3.6.1 に示す方法が一般的である。

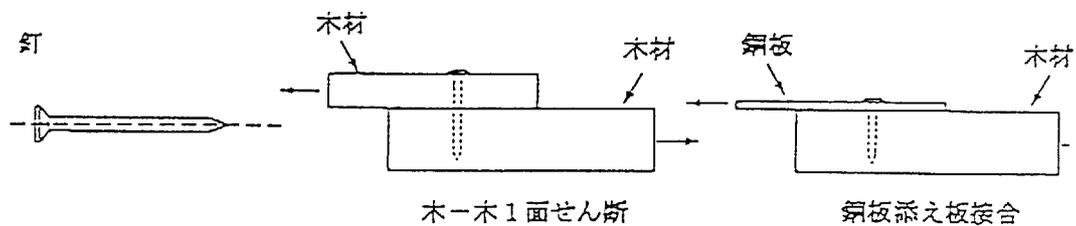
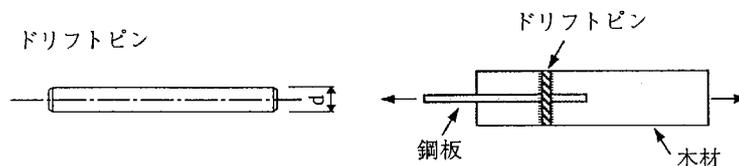


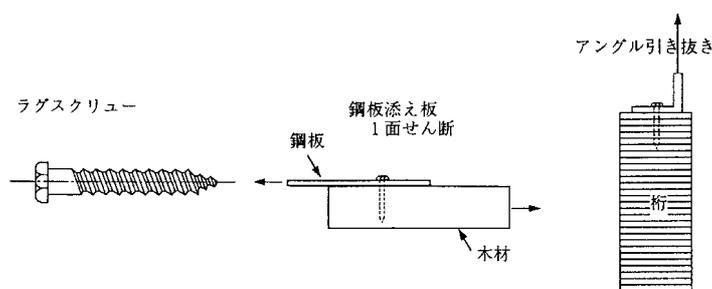
図-解 3.6.1 釘接合

(3) ドリフトピンの品質に関しては明確な規格はないが、実際に用いられるものは JIS G 3101 に規定された SS400 相当の鋼棒から切り出される場合が多い。図一解 3.6.2 に外観を示す。



図一解 3.6.2 ドリフトピン接合

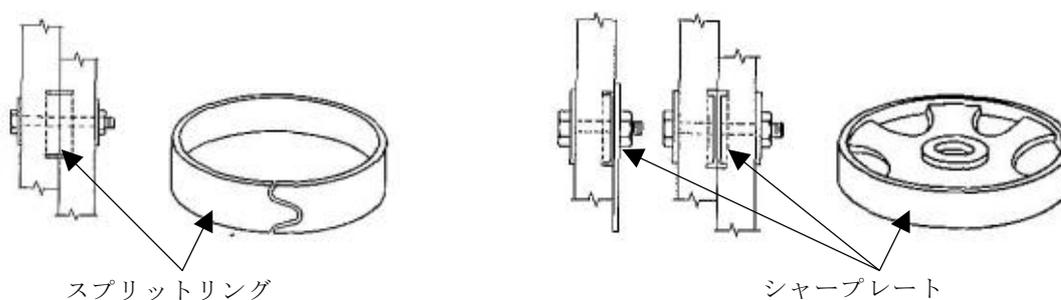
(4) ラグスクリューの材質や形状に関する JIS 規格はなく、製造者団体（ラグスクリュー懇話会）の規格やドイツの DIN 規格に準拠したものが望ましい。図一解 3.6.3 に外観を示す。



図一解 3.6.3 ラグスクリュー接合

(5) ジベルは必ずボルトと併用して使用するもので、ボルト接合で最も力の集中する主材（木材）と側材（木材、または鋼材）との接合界面に配置し、大きな耐圧面積を活かしてボルトのせん断抵抗能力を増すための補助的な接合具である。

図一解 3.6.4 に現在わが国で使われている代表的ジベル 2 例を示す。



図一解 3.6.4 代表的ジベルの形状

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説

3.6.3 接合金具の防錆処理

木橋の主要構造部に用いる接合金具には、溶融亜鉛メッキなどの耐候性処理を施したものを使用することが望ましい。

3.7 コンクリート

道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編）の3.2を準用する。

3.8 接着剤

(1) 使用接着剤

接着剤は、原則としてフェノール樹脂木材接着剤（JIS K 6802）の規格によるものと同等以上の性能を持つものとする。なお、フェノール樹脂接着剤と同等の接着剤としては、レゾルシノール樹脂接着剤、エポキシ樹脂接着剤が考えられる。また、水性高分子イソシアネート系木材接着剤、ポリウレタン樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤については、それらの耐久性が立証された場合に用いることができる。

(2) 使用上の留意点

- 1) 接着剤は、製造後はなほだしく年限のたったものや、密封の不十分なものは原則として使用しない。
- 2) 接着剤の使用にあたっては、接着剤製造業者の指示する配合仕様に従い調合し、特に低温にならないように注意することが望ましい。また、必ずあらかじめ接着力試験を行って接着力を確かめることが望ましい。

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説

第4章 許容応力度等

4.1 調整係数

(1) 割り増し係数

主荷重に対する許容応力度は 4.2 に規定する値を標準とする。但し主荷重のうち永久に載荷される死荷重に対しては 0.9 を乗じて得た値を許容応力度とする。2.13 の荷重の組合せを考慮した場合は、下表に示す割り増し係数 C_D を 4.2 に規定する許容応力度に乗じた値とする。但し、施工時荷重に対する割り増し係数は施工時に対する諸条件が設計計算の前提となる施工条件と等しい精度を有する場合に適用を原則とする。

表-4.1.1 割り増し係数 C_D

荷重の作用期間	割り増し係数 C_D	荷重の組み合わせ
永 久	1.0	死荷重 (DL)
50 年間	1.1	死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL)
3 ヶ月間	1.43	死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 積雪荷重 (SL)
3 日間	1.6	死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 風荷重 (W)
10 分間	2.0	死荷重 (DL) + 活主荷重 (LL) + 地震の影響 (EQ)
3 日間	1.6	風荷重 (W)
3 ヶ月間	1.43	施工時荷重 (ER)

(2) 各種調整係数

許容応力度等に対して次の各種調整係数を考慮することを標準とする。

- ① 湿潤調整係数 C_M
- ② 部分圧縮調整係数 C_A
- ③ 座屈調整係数 η
- ④ 横座屈調整係数 C_b
- ⑤ 曲率調整係数 k
- ⑥ 寸法調整係数 C_f

(1) 割り増し係数

死荷重に対してはクリープ等を考慮して 0.9 を乗じたものとした。

荷重の中には、まれにしか起こらないものも含まれているので、このような荷重に対しては、許容応力度を割り増してもよいと考え、この条において各荷重の組合せに

よる許容応力度の割り増し係数 C_D を示した。この割り増し係数 C_D は木材のヤング係数 E と圧縮許容応力度 F_C には適用しない。

(2) 各種調整係数

調整係数は構造用製材および集成材に適用することを基本とするが、構造用合板および LVL に対しても適用することができる。

〈参考基準類〉 道路橋示方書・同解説、AITC、AASHTO

木質構造設計規準・同解説

4.2 木質材料の許容応力度および弾性係数とその増減

4.2.1 構造用製材

(1) 湿潤

常時湿潤状態にあるものに対しては 4.3 に規定する値の 70% (湿潤調整係数 $C_M = 0.7$) とすることが望ましい。

(2) 直接雨露にさらされる構造物

これに対しては状況に応じ 80% (湿潤調整係数 $C_M = 0.8$) まで低減させる。ただし、床版については防水処理されていない場合には許容曲げ応力度のみ 70% に低減させることが望ましい。

(3) せん断

割裂を伴わないせん断の場合には、許容せん断応力度を 1.5 倍まで増すことができる。

(4) むり込み

- a) 少量のむり込みを生じても差しつかえない構造物においては、許容値の 50% 以内を増すことができる。
- b) 変形が重要となる構造物などにおいては、許容むり込み応力度を状況に応じ低減すること。
- c) 受圧面が追まさの場合は、2/3 に低減すること。

(5) 木材の弾性係数とクリープ

1) 木材の繊維方向のヤング係数

木材の繊維方向のヤング係数は、表-4.2.1 の値を標準とする。

ただし、主要材ないしは単独で働き、変形がきわめて重視される材の変形計算に対する E の値は表-4.2.1 の値の 80% をとることができる。

なお、グレーディングマシンなどで、ヤング係数を実測する場合は、その値を用いることができる。

表-4.2.1 木材の繊維方向のヤング係数

(単位 kN/mm²)

樹 種			E
針	I 類	べいまつ・ダフリカからまつ	10.0
	II 類	ひば・ひのき・べいひ	9.0
葉	III 類	あかまつ・くろまつ・からまつ・つが・べいつが	8.0
樹	IV 類	もみ・えぞまつ・とどまつ・べにまつ・すぎ*・べいすぎ・スプルース	7.0
広	I 類	かし	10.0
	II 類	くり・なら**・ぶな・けやき**・アピトン	8.0
	III 類	ラワン	7.0
樹		エッキ (ボンゴシ、アゾベ)	16.67***

(注) * 気乾比重 0.3 以下のすぎに対しては、表記の値の 70%をとる。

** なら・けやきについては、平均年輪幅 1mm 以上のものとする。

*** ドイツの文献にもとづいているが国内の試験 (国内メーカー提供) で確認したものである。

2) 木材のクリープ

木材のクリープ特性は、荷重の大きさと加わり方、その存続期間、さらにその木材が使われる場所の温湿度条件に大きく影響されるので、これを考慮し設計する必要がある。

- a) 一定の継続荷重が長期にわたって作用する場合、気乾状態では変形が 2 倍、湿潤状態または乾湿繰り返し条件では変形が 3 倍になると考え設計するのがよい。
- b) 荷重が継続的に繰り返し作用した場合、気乾状態で、かつ負荷と負荷の間に十分なクリープ回復が認められる場合には、クリープ変形計算に際し、重ね合わせの原理を適用することができる。

(1) 湿潤状態の場合

無欠点小試験体では、木材の含水率が増すと強度は低下し、含水率 25~30% (繊維飽和点) 以上では一定値をとる。このことを考慮し、実大材の常時湿潤状態における

強度は、各応力とも 70%に低減できることとした。

(2) 直接雨露にさらされる構造物

直接雨露にさらされる構造物は、乾燥と湿潤の状態を繰り返し生じ、また、木材表面にウェザリングによる劣化が生じる可能性があるので、状況に応じて許容応力度の低減することができる。

(3) せん断

4.3 に示した値は、合掌じりのような割さきを伴う欠込みや乾裂のある木材を対象としたものである。従って、欠込みなどがなく、かつ、著しい乾裂が生じるおそれのない木材に対しては許容値を 1.5 倍することができる。

(4) むり込み

少量のむり込みを生じても差しつかえない部分、例えば土台と柱の仕口などは許容むり込み応力度の 50%までの割増しを行うことができる。一方、変形が重要となる構造部、例えばトラス梁における胴付き仕口などでは、許容応力度以下の応力となるような設計が望ましい。また、追いまさの場合のむり込み比例限度は、低い実験的値となっているので、2/3 をとった。

(5) 木材の弾性係数とクリープ

1) 木材の繊維方向のヤング係数

木材のヤング係数は、同一樹種でも強度と同様に広い範囲に分布する。表-4.2.1 の値は樹種群を構成する樹種ごとのヤング係数の平均値のうち、最も低い値を示したものである。したがって、一般の床梁に対しては表の値をとってよいが、単独で荷重を支持する材、あるいは剛性や変形が使用上特に重要な要素となる部材では最小値と考えられる値、すなわち、表の値の 80%をとることを推奨する。

また、ヤング係数を実測した場合には、その値を基にして設計用の値を定めてもよい。ただし、測定時の木材の含水率と、使用環境における平衡含水率とが異なる場合には、含水率 1%の増加に対し、ダフリカからまつ・ひのきで 1.3%、すぎで 1.05%、その他の樹種で 1.2%ヤング係数が減少するものとして調整することができる。これらの値は、実大材の実験から得られたもので、従来の設計基準で採用していた無欠点小試験体についての値（含水率 1%の変化に対してヤング係数の増減 2%）より低くなっている。なお、曲げ剛性 E_I の値は、生材時と気乾時とではほとんど変化がないと考えてよい。

2) 木材のクリープ

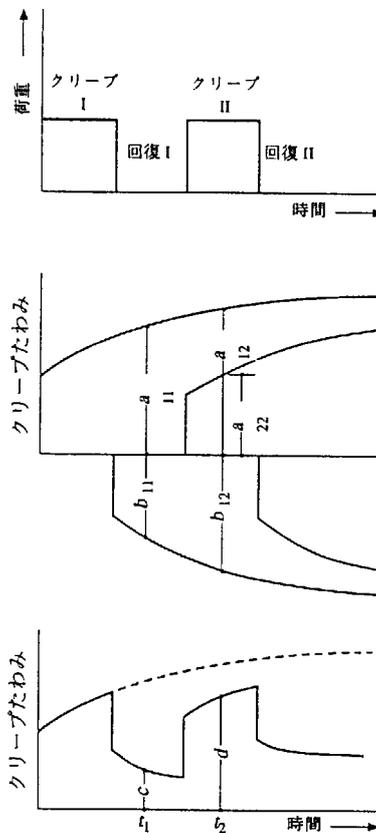
変形が設計上重要となる部材に長期間荷重が存続する場合は、クリープ変形を考慮することを標準とする。

a) 一定の荷重が長期間連続して作用する場合、変形は気乾状態では最終的に初期変形の約2倍に、湿潤状態又は乾湿繰り返し条件下では、約3倍になるといわれている。

しかしながら、長期間荷重が100%連続的に作用することはまれで、北米などでは未乾燥の製材品を用いる場合、ヤング係数の値を1/2に、気乾の製材品や集成材を用いる場合には、2/3にとることが推奨されている。

b) 荷重をある時間積載するとクリープが生じる。次にその荷重を除くと、クリープ回復が生じる。このことを繰り返すと、実際のクリープたわみは、各クリープ（たわみの増加及び減少）の総和となり、各クリープは前歴に影響されことなく独立と考えてよい。

すなわち、各クリープ現象を重ね合わせたものが、最終のたわみとなる。これを重ね合わせの原理という。



図一解 4.2.1 重ね合わせの原理

図一解 4.2.1 に示したようなクリープⅠ、クリープ回復Ⅰ、クリープⅡ、クリープ回復Ⅱが引き続いて行われたとき、時間 t_1 におけるクリープたわみは、クリープⅠの t_1 時におけるたわみ a_{11} より、クリープ回復Ⅰのたわみ b_{11} を差し引いたもので、 c となる。同様に時間 t_2 の場合は、クリープたわみ a_{12} と a_{22} の和より回復たわみ b_{12} を差し引いたもので、 d となる。以下、同様にして計算をする。

この原理の適合性は、恒温恒湿室内における無欠点小試験体の断続荷重による曲げクリープ試験、及び空調のない室内における実大合成梁の曲げクリープ試験などで確かめられている。ただし、屋外のように温湿度が激しく変動する環境条件での確認実験はない。

〈参考基準類〉木質構造設計規準・同解説、

National Specification for Wood Construction : USA、AITC

4.2.2 構造用集成材

- (1) 常時湿潤状態にあるものに対しては、表-4.4.1～表-4.4.4 の値の 70% (湿潤調整係数 $C_M=0.7$) とすることが望ましい。
- (2) 直接雨露にさらされる場合は、状況に応じて表-4.4.1～表-4.4.4 の値を 80% (湿潤調整係数 $C_M=0.8$) まで低減させることが望ましい。
- (3) 割裂を伴わないせん断に対しては、原則として f_s の割増しを行なわない。
- (4) 少量のめり込みを生じても差しつかえのない部所においては表-4.3.4 の値を 1.5 倍まで増すことができる。逆に変形が重要となる部所においては、許容めり込み応力度を状況に応じて低減することが望ましい。

(5) 集成材の弾性係数とクリープ

1) 繊維方向のヤング係数

構造用集成材の繊維方向ヤング係数 E_0 は、表-4.4.1～表-4.4.4 に示す強度等級の E の値 (kN/mm^2) を標準とする。なお、集成材のヤング係数を実測した場合、また、ラミナの実測値から集成材のヤング係数を計算して求めた場合は、その値を用いてもよい。

2) 繊維直交方向のヤング係数 E_{90} は、原則として表-4.4.1～表-4.4.4 に示す強度等級の E の 1/25 の値とする。

3) せん断弾性係数は、表-4.4.1～表 4.4.4 に示す強度等級の E の 1/15 の値とする。

4) 構造用集成材のクリープ変形は、原則として構造用製材に対する扱いと同じとする。

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説

4.3 構造用製材の許容応力度

4.3.1 一般

構造用製材の許容応力度は原則として4.3.2から4.3.4の各条に示す値を用いることが望ましい。

一般に許容応力度とは材料強度のばらつき、過大荷重の可能性、設計計算、製作、架設での誤差、経年による材料の劣化等を総合的、経験的に考慮して材料の規定強度を適当な安全率で割り引いた値であり、これを設計に用いる。木橋の設計でもこの考えは同様であるが、特に木材は環境や維持管理の状態により劣化の程度が非常に異なること、材質の異方性が著しいこと、また、材料によっては部分による強度のばらつきが大きいこと等に注意しなければならない。

鋼材でも維持管理が悪いと錆びて劣化するが、錆を除去して残った鋼材の強度は低下していないので、残存断面積に基づき、構造物の耐荷力を推定できる。木材の場合は初期の強度の影響は勿論大きいですが、それにも増して雨水の排泄が不適切であったり、塗装剤、防腐剤による保護を怠ると、予想外に早く腐朽が進行する可能性がある。しかも必ずしも外観から適切に判断できない場合がある。

このように考えると木橋の寿命は保守が良ければほとんど無限であるとも言えるが、一方、悪ければ以外に短いこともあり得るので、許容応力度の意味も不明確になってくる。しかし、設計の目安としての値を示したが、あくまで適切な保守管理が大前提であるから、単に、許容応力度で安全が確保されていると考えることは危険である。

4.3.2 針葉樹製材の繊維方向の許容応力度

針葉樹製材の繊維方向の許容応力度は表-4.3.1を標準とする。

表-4.3.1 針葉樹製材の繊維方向の許容応力度

(単位 N/mm²)

樹種		f_c	f_t	f_b	f_s
I類	ベイマツ・ダフリカからまつ	7.4	5.9	9.4	0.8
II類	ひば・ひのき・べいひ	6.9	5.4	8.9	0.7
III類	あかまつ・くろまつ・からまつ・つが・べいつが	6.4	4.9	8.4	0.8
IV類	もみ・えぞまつ・とどまつ・べにまつ・すぎ・べいすぎ・スプルス	5.9	4.5	7.4	0.6

ただし、 f_c ：縦圧縮、 f_t ：縦引張、 f_b ：曲げ、 f_s ：せん断

表-4.3.1に示した許容応力度は建築基準法施行令第89条による値である。一方JAS規格に合格した針葉樹製材の許容応力度としては、これとは別に建設省住指発第16号(平成4年1月31日)、第195号(平成8年5月23日)住宅局建築指導課長通達による。しかし、せん断許容応力度が含まれていないこと、樹種群が日本建築学会「木質構造計算規準・同解説」や上記施行令第195条のそれらと異なり、ヤング係数と許容応力度との対応関係に一部整合性がとれないこと等の理由から、本資料では、施行令第89条の許容応力度を記した。

〈参考基準類〉 建築指導課長通達、木質構造設計規準・同解説

4.3.3 広葉樹製材の繊維方向の許容応力度

広葉樹製材の繊維方向の許容応力度は表-4.3.2を標準とする。

表-4.3.2 広葉樹製材の繊維方向の許容応力度

(単位 N/mm^2)

樹種		f_c	f_t	f_b	f_s
I類	かし	9.0	8.0	12.8	1.4
II類	くり・なら・ぶな・けやき・アピトン	7.0	6.0	9.8	1.0
III類	ラワン	7.0	4.9	8.9	0.6

表-4.3.2のエッキ以外の値は日本建築学会「木質構造設計規準」による。エッキの値はドイツの文献を参考にした。エッキの値はドイツの文献にもとづいているが、このうち f_c 、 f_b 、 f_s については国内の試験（国内メーカー提供）で確認したものである。

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説

4.3.4 木材の繊維直交方向の許容圧縮応力度

(1) 木材の繊維直交方向の許容圧縮応力度は等級に拘わらず表-4.3.3を標準とする。

表-4.3.3 木材の繊維直交方向の許容圧縮応力度

(単位 N/mm^2)

樹種			部分圧縮（めり込み）		全面圧縮
			材中間部	材端	
針葉樹	I類	ベイマツ・ダフリカからまつ	3.0	2.4	0.93
	II類	ひば・ひのき・べいひ	2.6	2.1	0.87
	III類	あかまつ・くろまつ・からまつ・つが・べいつが	2.6	2.1	0.80
	IV類	もみ・えぞまつ・とどまつ・べにまつ・すぎ・べいすぎ・スプルース	2.0	1.6	0.73
広葉樹	I類	かし	4.0	3.0	1.80
	II類	くり・なら・ぶな・けやき・アピトン	3.6	2.7	1.40
	III類	ラワン	3.0	2.3	1.40

(2) 加力方向と繊維方向との任意の角度をなす場合の木材のめり込み許容応力度は
 図-4.3.1 を標準とする

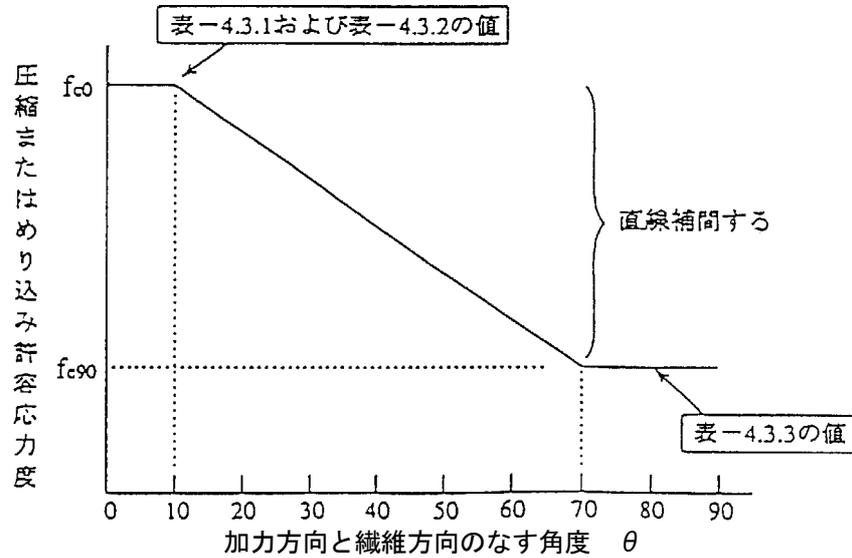
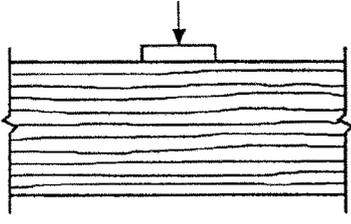
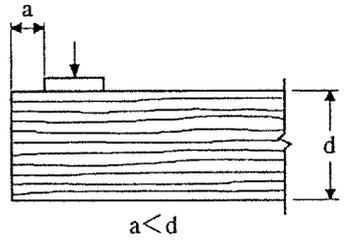


図-4.3.1 材中間部でめり込みを受ける場合の許容応力度と荷重角度の関係

(3) 木材の繊維に直交方向の許容部分圧縮（めり込み）応力度の加力位置による調整
 係数（部分圧縮調整係数 C_A ）は表-4.3.4 を標準とする。

表-4.3.4 部分圧縮調整係数

樹 種	部分圧縮調整係数	
針 葉 樹	1.00	0.80
広 葉 樹	1.00	0.75
	(イ) 材中間部におけるめり込み 	(ロ) 材端におけるめり込み  $a < d$

(1) の表-4.3.3-値はエッキはドイツの文献を参考にし、それ以外はすべて木質構造
 の設計規準によった。

(2) は木材の繊維方向による強度の異方性を考慮したものである。

(3) は荷重位置が木材の中間部の場合と端部の場合とで荷重の分散効果が異なることを考慮したものである。

4.4 構造用集成材の許容応力度

(1) 繊維方向の許容応力度

構造用集成材の繊維方向の許容応力度は表-4.4.1～表-4.4.4を標準とする。

表-4.4.1 異等級対称構成集成材の許容応力度

(単位：N/mm²)

強度等級	許容応力度		
	f_c	f_t	f_b
E 1 7 0 - F 4 9 5	12.6	11.0	16.2
E 1 5 0 - F 4 3 5	11.0	9.6	14.4
E 1 3 5 - F 3 7 5	9.8	8.6	12.4
E 1 2 0 - F 3 3 0	8.4	7.4	10.8
E 1 0 5 - F 3 0 0	7.6	6.6	9.8
E 9 5 - F 2 7 0	7.2	6.2	9.0
E 8 5 - F 2 5 5	6.4	5.6	8.4
E 7 5 - F 2 4 0	5.8	5.0	8.0
E 6 5 - F 2 2 5	5.6	4.8	7.4

ただし、 f_c ：縦圧縮、 f_t ：縦引張、 f_b ：曲げ

表-4.4.2 異等級非対称構成集成材の許容応力度

(単位：N/mm²)

強度等級	許容応力度			
	f_c	f_t	f_b	
			正の曲げ	負の曲げ
E 1 6 0 - F 4 8 0	12.0	10.4	15.8	11.4
E 1 4 0 - F 4 2 0	10.4	9.2	13.8	9.4
E 1 2 5 - F 3 6 0	9.4	8.2	11.8	8.4
E 1 1 0 - F 3 1 5	8.2	7.0	10.4	8.0
E 1 0 0 - F 2 8 5	7.4	6.4	9.4	7.4
E 9 0 - F 2 5 5	6.8	6.0	8.4	7.0
E 8 0 - F 2 4 0	6.2	5.4	8.0	6.4
E 7 0 - F 2 2 5	5.6	4.8	7.4	6.0
E 6 0 - F 2 1 0	5.2	4.6	7.0	5.4

ただし、 f_c ：縦圧縮、 f_t ：縦引張、 f_b ：曲げ

表-4.4.3 同一等級構成集成材の許容応力度

(単位：N/mm²)

ひき板 の積層 数	強 度 等 級	許 容 応 力 度		
		f_c	f_t	f_b
4枚以上	E 1 9 0 - F 6 1 5	16.6	14.4	20.2
	E 1 7 0 - F 5 4 0	14.6	12.8	17.8
	E 1 5 0 - F 4 6 5	13.0	11.2	15.2
	E 1 3 5 - F 4 0 5	11.0	9.6	13.4
	E 1 2 0 - F 3 7 5	10.0	8.6	12.4
	E 1 0 5 - F 3 4 5	9.2	8.2	11.4
	E 9 5 - F 3 1 5	8.6	7.6	10.4
	E 8 5 - F 3 0 0	8.0	7.0	9.7
	E 7 5 - F 2 7 0	7.4	6.4	9.0
	E 6 5 - F 2 5 5	6.8	6.0	8.4
3枚	E 1 9 0 - F 5 5 5	15.0	14.4	18.2
	E 1 7 0 - F 4 9 5	13.4	12.8	16.2
	E 1 5 0 - F 4 3 5	11.8	11.2	14.4
	E 1 3 5 - F 3 7 5	10.0	9.6	12.4
	E 1 2 0 - F 3 3 0	9.0	8.6	10.8
	E 1 0 5 - F 3 0 0	8.4	8.2	9.8
	E 9 5 - F 2 8 5	7.8	7.6	9.4
	E 8 5 - F 2 7 0	7.4	7.0	9.0
	E 7 5 - F 2 5 5	6.8	6.4	8.4
	E 6 0 - F 2 4 0	6.2	6.0	8.0
2枚	E 1 9 0 - F 5 1 0	15.0	14.4	16.6
	E 1 7 0 - F 4 5 0	13.4	12.8	14.8
	E 1 5 0 - F 3 9 0	11.8	11.2	12.8
	E 1 3 5 - F 3 4 5	10.0	9.6	11.4
	E 1 2 0 - F 3 0 0	9.0	8.6	9.8
	E 1 0 5 - F 2 8 5	8.4	8.2	9.4
	E 9 5 - F 2 7 0	7.8	7.6	9.0
	E 8 5 - F 2 7 0	7.4	7.0	8.4
	E 7 5 - F 2 4 0	6.8	6.4	8.0
	E 6 5 - F 2 2 5	6.2	6.0	7.4

ただし、 f_c ：縦圧縮、 f_t ：縦引張、 f_b ：曲げ

表-4.4.4 構造用集成材のせん断の許容応力度

(単位：N/mm²)

せん断の応力が生じる部分のひき板の樹種	せん断の許容応力度 f_s
いたやかえで、かば、ぶな、みずなら、けやき、アピトン	1.6
たも、しおじ、にれ	1.4
ひのき、ひば、からまつ、あかまつ、くろまつ、ダフリカカラマツ、サザンパイン、ベイマツ	1.2
つが、アラスカイエローシーダー、ベにまつ、ラジアタパインベイツガ	1.1
もみ、とどまつ、えぞまつ、ベイモミ、スプルース、ロッジポールパイン、ポンデローサパイン、おうしゅうあかまつ、ラワン	1.0
すぎ、ベイスギ	0.9

(2) 繊維直交方向の許容圧縮応力度 f_{c90} は表-4.4.5 を標準とする

表-4.4.5 繊維直交方向の許容応力度

(単位：N/mm²)

めりこみの応力が生じる部分のひき板の樹種	めりこみの許容応力度 f_{c90}	
	材中央	材端
いたやかえで、かば、ぶな、みずなら、けやき、アピトン	3.6	2.7
たも、しおじ、にれ、ラワン	3.2	2.4
ひのき、ひば、あかまつ、くろまつ、からまつ、ダフリカからまつ、サザンパイン、ベイマツ	2.7	2.2
つが、アラスカイエローシーダー、ベにまつ、ラジアタパイン、ベイツガ、	2.5	2.0
もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロジポールパイン、ポンドローサパイン、おうしゅうあかまつ	2.2	1.7
すぎ、べいすぎ	2.0	1.6

(3) 繊維に傾斜する方向の許容応力度 $f_{c\theta}$

構造用集成材の繊維方向に傾斜する方向の許容めり込み応力度 $f_{c\theta}$ は、 $\theta = 0^\circ$ から 10° までは表-4.4.1～表 4.4.4 の f_c をとり、 $\theta = 70^\circ$ から 90° までは表-4.4.2 により、中間角度は直線補間した値とすることが望ましい。

(4) 座屈許容応力度

座屈許容応力度の決定は原則として 5.3 による。

〈参考基準類〉 建設省告示第 1613 号、大断面集成材手引き、
木質構造設計規準・同解説

4.5 構造用合板の許容応力度

(1) 構造用合板の許容応力度

JAS に規定される構造用合板 1 級の許容応力度は表－4.5.1、4.5.2、4.5.3 を標準とする。

構造用合板の JAS に規定された条件のうち、単板構成のみが異なるラワン合板の許容応力度は表－4.5.4 により計算することができる。

表－4.5.1 表板の繊維に平行方向の曲げ・引張り・圧縮の許容応力度

(1 級構造用合板の見掛けの全断面に対する値)

(単位：N/mm²)

厚さ (mm)	階層数	許 容 応 力 度								
		曲 げ f_b			引 張 り f_t			圧 縮 f_c		
		A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D
5.0	3	10.5	9.5	8.5	6.5	6.0	5.5	4.5	4.0	4.0
6.0	3	9.5	9.0	8.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5
7.5	5	8.5	8.0	7.0	6.0	5.5	5.0	4.0	4.0	3.5
9.0	5	8.0	7.0	6.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0
12.0	5	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0
15.0	7	6.0	5.5	5.0	4.0	3.5	3.0	3.0	2.5	2.5
18.0	7	6.0	5.5	5.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0
21.0	7	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0
24.0	9	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.5	3.0

(注) 記号 A、B、C、D は単板の等級を表す。「構造用合板の日本農林規格」第 3 条第 1 項末尾の注参照。

表－4.5.2 表板の繊維に直角方向の曲げ・引張り・圧縮の許容応力度

(1 級構造用合板の見掛けの全断面に対する値)

(単位：N/mm²)

厚さ (mm)	階層数	許容応力度								
		曲げ f_b			引張り f_t			圧縮 f_c		
		AA-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D
5.0	3	2.0	2.0	2.0	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5
6.0	3	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5
7.5	5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5
9.0	5	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5
12.0	5	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5
15.0	7	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	4.0	4.0	4.0
18.0	7	5.0	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5
21.0	7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5
24.0	9	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5

(注) 記号 A、B、C、D は単板の等級を表す。「構造用合板の日本農林規格」第 3 条第 1 項末尾の注参照。

表－4.5.3 表板の繊維と 45 度をなす方向の引張り・圧縮の許容応力度ならびにめり込み・せん断の許容応力度 (1 級構造用合板の見掛けの全断面に対する値)

(単位：N/mm²)

応力の種類		表板の繊維方向に対する応力の方向	許容応力度			
			f	A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D
引張り		45°	f_t	1.8	1.6	1.5
圧縮		45°	f_c	2.4	2.3	2.2
めり込み		面に直角	$f_{c\perp}$	2.0	2.0	2.0
せん断	面内	0°、90°	f_s	1.4	1.3	1.2
		45°		2.8	2.6	2.4
せん断	層内 (ローリング)	0°、90°	f_r	0.4	0.4	0.4
		45°		0.5	0.5	0.5

(注) 記号 A、B、C、D は単板の等級を表す。「構造用合板の日本農林規格」第 3 条第 1 項末尾の注参照。

表-4.5.4 単板の許容応力度と合板の計算法

(単位：N/mm²)

応力の種類		表板の繊維方向に対する応力の方向	合板の等級 (A、B、C) と単板の許容応力度			合板の場合 ¹⁾ の計算法	
			A-A B-B	A-C B-C C-C	A-D B-D C-D D-D		
曲 げ	f_b	0°	11.0	10.0	9.0	$f_b \cdot Z_0/Z_p$ $K^2) \cdot f_b \cdot Z_{90}/Z_p$	
		90°	9.0	9.0	9.0		
引 張 り	f_t	0°	11.0 ³⁾	10.0 ³⁾	9.0 ³⁾	$f_t \cdot A_0/A_p$ $f_t \cdot A_{90}/A_p$ 全断面 ⁵⁾	
		90°	9.0	9.0	9.0		
		45°	1.8	1.6	1.5		
圧 縮	f_c	0°	7.5 ⁴⁾	7.0 ⁴⁾	6.5 ⁴⁾	$f_c \cdot A_0/A_p$ $f_c \cdot A_{90}/A_p$ 全断面 ⁵⁾	
		90°	6.5	6.5	6.5		
		45°	2.4	2.3	2.2		
めり込み		$f_{c\perp}$	面に直角	2.0	2.0	2.0	全断面 ⁵⁾
せん断	面内	f_s	0°、90° 45°	1.4 2.8	1.3 2.6	1.2 2.4	全断面 ⁵⁾
	層内 (平行シフト)	f_r	0°、90° 45°	0.4 0.5	0.4 0.5	0.4 0.5	

(注) 1) A_0 : 繊維方向が表板のそれに平行な単板の断面積の総和。

A_{90} : 繊維方向が表板のそれに直角な単板の断面積の総和。

A_p : 合板の全断面積 $A_p = A_0 + A_{90}$

I_0 : 繊維方向が表板のそれに平行な単板の、合板の中立軸に関する断面2次モーメントの総和。

I_{90} : 繊維方向が表板のそれに直角な単板の、合板の中立軸に関する断面2次モーメントの総和。

I_p : 合板の断面2次モーメント $I_p = I_0 + I_{90}$

Z_0 : 繊維方向が表板のそれに平行な単板についての断面係数

$$Z_0 = 2I_0/h_p \quad h_p \text{ は合板の厚さ}$$

Z_{90} : 繊維方向が表板のそれに直角な単板についての断面係数。

Z_p : 合板の断面係数 $Z_p = 2I_p/h_p$

2) 積層数3のみ $K=1.5$ 、積層数5以上は $K=1.0$ 。

3) 積層数3のみ、積層数5以上は 10kgf/cm^2 (0.98N/mm^2) 減じた値をとることができる。

4) 積層数3のみ、積層数5以上は 5kgf/cm^2 (0.49N/mm^2) 減じた値をとるこ

とができる。

5) 表の値がそのまま合板の値。

(2) 構造用合板の弾性係数

日本農林規格に規定される構造用合板 1 級、2 級のヤング係数およびせん断弾性係数は表-4.5.5、4.5.6 を標準とする。ただし、単板構成が異なるラワン合板のそれらは表-4.5.7 により計算することができる。

表-4.5.5 構造用合板のヤング係数およびせん断弾性係数

(1 級構造用合板の見掛けの全断面に対する値)

(単位：kN/mm²)

厚さ (mm)	階 層 数	ヤング係数 (E)				せん断弾性係数 (G)	
		曲 げ		引張りおよび圧縮		0° ,90°	45°
		0°	90°	0°	90°		
5.0	3	8.5	0.5	5.5	3.5	0.4	2.5
6.0	3	8.0	1.0	4.5	4.5		
7.5	5	7.0	2.0	5.5	3.5		
9.0	5	6.5	2.5	4.5	4.5		
12.0	5	5.5	3.5	4.5	4.5		
15.0	7	5.0	4.0	3.5	5.5		
18.0	7	5.0	4.0	4.5	4.5		
21.0	7	5.5	3.5	4.5	4.5		
24.0	9	5.5	3.5	4.5	4.5		

(注) 0° , 90° , 45° は表板の繊維方向に対する応力の方向

表-4.5.6 構造用合板 2 級の表板の繊維に平行方向の曲げヤング係数

(単位：kN/mm²)

厚さ (mm)	ヤング係数
5	6.5
6	6.5
7	5.5
9	5.0
12	4.0
15	4.0
18	4.0
21	4.0
24 以上	3.5

表-4.5.7 ラワン単板の弾性係数（短期）

（単位：kN/mm²）

弾性係数の種類	表板の繊維方向に対する応力の方向	単板の基準弾性係数 ¹⁾	合板の基準弾性係数の計算法
ヤング係数 E	0° , 90°	9.0	$E \cdot I_0/I_p$ $E \cdot I_{90}/I_p$
せん断弾性係数 G	0° , 90° 45°	0.4 2.5	全断面 ²⁾

（注）1）値は等級によらない

2）表の値がそのまま合板の値

(3) 含水率による許容応力度などの調整（湿潤調整係数 C_M ）

合板の含水率 15%以下での許容応力度と弾性係数は表-4.5.1~4.5.7 を標準とするが、12ヶ月間の平均含水率が 25%以上の場合には表-4.5.8、4.5.9 の調整係数を表-4.5.1~4.5.7 の値に乗じて求めることができる。

表-4.5.8 許容応力度に対する調整係数（含水率 25%以上）

応力の種類	調整係数
曲げ・引張り・せん断	0.6
圧縮	0.4

表-4.5.9 弾性係数に対する調整係数（含水率 25%以上）

弾性係数の種類	調整係数
ヤング係数	0.8
せん断弾性係数	0.6

含水率が 15%と 25%の間にある場合の許容応力度と弾性係数の調整係数は直線補間で求めることができる。

なお、合板は原則として特類合板以外を使用してはならない。

(4) 設計上の注意

- 1) 座屈：圧縮力又はせん断力を受ける合板は原則として座屈に対して安全なように設計する。
- 2) 面内の曲げ：合板がその面内に曲げを受ける場合は、原則として曲げの最外繊維

維応力度を合板の引張り許容応力度以下とする。

- 3) ローリングシャワー及び応力集中：合板が面外の曲げを受ける場合や合板と木材などを接着して構成した部材などでは、ローリングシャワーや応力集中に対する検討を行うことが望ましい。

わが国で生産される合板、及びわが国で使用される合板の大多数は、現在までのところいわゆるラワン類と称される熱帯広葉樹を原木としたものである。1級の構造用合板については、ホワイトラワンを基準において単板の許容応力度をまず誘導し、次に表-4.5.4に示すような単板構成に応じた計算をして合板の許容応力度を算定している。単板の許容応力度は次のような手続で誘導されている。すなわち、生材状態における無欠点小試験体について、標準試験による平均強度値を求め、これに統計的下限值を想定するための低減係数、長期荷重による低減係数、工学的判断による安全係数を乗じて基準応力度 (basic stress) を算出し、これにさらに、乾燥による増加係数、単板の品等に依存する合板の等級係数を乗じて単板の許容応力度としている。1級については、JAS では圧縮及び曲げ試験を課してそれに対応する強度の適合基準を設けているが、この値は、合板の曲げで長期許容応力度の4倍、圧縮で3.5倍としている。

図-解 4.5.1 のように、合板が層内にせん断力を受ける場合は、木材の繊維が転がるような状態になり、その強度は予想以上に低いので注意が必要である。

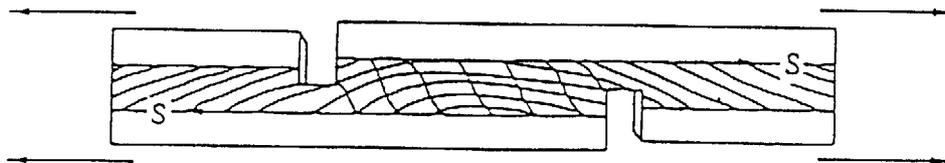


図-解 4.5.1 ローリングシャワー（層内せん断）

なお、合板の場合は、素材と異なり、特別の構成条件でないかぎり、圧縮又は引張りによる軸力を受ける場合と曲げモーメントを受ける場合とでは、両者のヤング係数及びポアソン比は異なる。

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説、JAS1639号

4.6 LVL の許容応力度

(1) 曲げ、引張り、圧縮の許容応力度

LVL の曲げ、引張り、圧縮、せん断の各許容応力度は、表-4.6.1 を標準とする。

表-4.6.1 LVL の許容応力度表

(単位： N/mm²)

曲げヤング係数 区分	等級	許容応力度		
		圧縮	引張	曲げ
180E	特級	15.6	11.6	19.4
	1級	15.0	10.0	16.6
	2級	14.0	8.4	14.0
160E	特級	13.8	10.4	17.2
	1級	13.4	9.0	14.8
	2級	12.4	7.4	12.4
140E	特級	12.0	9.0	15.0
	1級	11.6	7.8	13.0
	2級	10.8	6.6	10.8
120E	特級	10.4	7.8	13.0
	1級	10.0	6.6	11.0
	2級	9.2	5.6	9.2
110E	特級	9.4	7.2	11.8
	1級	9.0	6.0	11.0
	2級	8.6	5.2	8.6
100E	特級	8.6	6.6	10.8
	1級	8.4	5.6	9.2
	2級	7.8	4.8	7.8
90E	特級	7.8	5.8	9.6
	1級	7.6	5.0	8.4
	2級	7.0	4.2	7.0
80E	特級	7.0	5.2	8.6
	1級	6.6	4.4	7.4
	2級	6.2	3.8	6.2
70E	特級	6.0	4.6	7.6
	1級	5.8	4.0	6.6
	2級	5.4	3.2	5.4
60E	特級	5.2	4.0	6.6
	1級	5.0	3.4	5.6
	2級	4.6	2.8	4.6

(2) 水平せん断許容応力度

LVL の水平せん断許容応力度は、表-4.6.2 を標準とする。

表-4.6.2 LVL の許容せん断応力度

(単位：kN/mm²)

水平せん断性能	許容せん断の応力度
65V/55H	1.4
60V51/H	1.3
55V/47H	1.2
50V/43H	1.1
45V/38H	1.0
40V/34H	0.9
35V/30H	0.8

(3) 座屈許容応力度

座屈許容応力度の決定は、原則として 5.3 による。

〈参考基準類〉 木質構造設計規準・同解説

4.7 鋼材の許容応力度

道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋編）を準用する。

4.8 コンクリートの許容応力度

道路橋示方書・同解説（Ⅲコンクリート橋編、Ⅳ下部構造編）を準用する。

第5章 構造設計

5.1 総則

5.1.1 構造計画

- (1) 木橋を計画する場合には、用途、使用期間、環境や、スパン、荷重などの規模等を勘案して適切な構造形式を選択することが望ましい。
- (2) 応力の伝達が確実であり、腐食の恐れが出来るだけ少なくなるよう、各部の構造を決定することが望ましい。

(1) 使用期間が限られた場合、例えば工事用の仮設備としての木橋であれば、腐朽対策の重要性も低く、他の材料の橋と同様、許容応力度などもある程度、高めにとることが許される。

しかし、長期に亘って使用することを期待する場合には、屋根をつけることなども含めて、十分な腐朽対策、維持管理を行わなければならない。設計における許容応力はそれを前提として与えられていることを忘れてはならない。

経済性を考えると、重要度によって取扱いに差がつくことは当然であるが、安全性をおろそかにするべきではない。

(2) 部材応力の伝達が円滑かつ確実であることが重要であるのは鋼構造などと同様であるが、木構造の場合、材質のばらつきが大きいこと等を配慮し、安全性の高い構造を採用することが必要である。この場合、特に接合部については必ず変形することおよび長期にわたっての変形特性があることから、これに配慮した構造計画を行う。

木材を防腐処理することはもちろん、重要であるが、細部構造においても雨水が流入したり、溜まることのないよう、配慮しなければならない。

5.1.2 構造解析の方法

解析の方法は鋼構造に準じて行ってよいが、木材の異方性、クリープ、湿度の影響など、鋼材と異なる特質に留意することが望ましい。また、接合部や支点部については、継手および支承の特性に留意することが望ましい。

構造の全体解析は、基本的には鋼構造などと同様と考えてよい。しかし部材の構成などにおいて木材にはクリープの現象があること、湿度により体積変化や強度変化があること等に留意する必要がある。特に接合部の取り扱いとしては、剛性評価(回転バネ、軸バネ、

せん断バネ)することが、より解析精度を向上させることに役立つことから、適切な剛性を求める必要がある。この接合部の剛性評価の方法については、日本建築学会「木質構造設計ノート」に示されている。

また、上記の木材の諸性質には著しい異方性があること、すなわち、方向により変化することが均質性の強い鋼材と非常に異なることに注意しなければならない。ちなみに、木質材のせん断剛性は、4.2 項に示されるようにヤング係数の $1/15 \sim 1/20$ (木材)、 $1/15$ (集成材) 程度となり、構造解析する上で留意する必要がある。

5.1.3 部材断面の検討

原則として第 2 章の荷重及び第 4 章の許容応力度に基づいて断面を算出するものとする。

許容応力度にはある程度の径年による劣化は考慮されているが、腐朽しないよう、常識的な維持管理が大きな前提条件となっていることに留意すべきである。

5.1.4 たわみの許容値

たわみの許容値は構造物の用途に応じて適宜、定めることができる。

過度のたわみは、構造物の細部の損傷の原因となったり、振動を増幅する可能性がある。種々の構造物の設計示方書においてたわみの許容量は与えられているが、その根拠があまり明確でないものやたわみの許容値そのものを規定していない示方書もある。

強度の規制値の方が厳しく、たわみの規制値が影響しない場合には問題ないが、抵触する場合にはその制限が真に必要な限り不経済な構造物を作る結果となる。

歩道橋に対して立体横断施設技術規準(54年1月)では、原則として $L/600$ とし、状況に応じて $L/400$ まで認めている。

参考基準類 道路橋示方書・同解説、立体横断施設技術規準・同解説、AITC

5.1.5 変形、振動等に対する検討

必要に応じて荷重を載荷したときの橋梁の捩れ、振動等に対する検討を行うことが望ましい。

荷重を載荷したときのたわみや捩れは一般的には橋の強度に直接的な影響を与えるものではないが、長期的には接合部のゆるみ、塗装の割れの原因となることがある。

また、剛度が低いことは一般的には振動しやすい構造を意味するので、橋のたわみに対して制限を加えることがある。しかし、余り根拠もなく、厳しく制限すると無意味に経済性を損なうことになるので注意すべきである。

振動については強度上の問題と歩行者に及ぼす心理的影響が考えられる。前者に対しては解析により判断し、後者に対しては 5.1.4 のたわみの制限値を満足するよう設計するのがよい。

参考基準類 立体横断施設技術規準・同解説

5.2 引張材

(1) 断面計算

引張材の作用応力度は原則として(5.2.1)式によって算定する。

$$N/A_e \leq f_t \quad (5.2.1)$$

記号 N : 設計用軸方向引張力(N)

A_e : (2)に示す有効断面積(mm²)

f_t : 許容引張応力度(N/mm²)

(2) 有効断面積

引張材の有効断面積は、原則として全断面積から断面欠損の総和を控除した正味断面積を、欠損の状況に応じて適切に低減した値とする。

引張材の断面欠損は、原則として全断面積の1/4以下とする。

(3) 注意事項

引張材の材端接合部においては、材のせん断・割裂きなどに対して安全でなければならない。

(1) 断面計算

引張材においては、木材の節・材中間に設けられる切欠き・穴などによる断面欠損・偏心した引張力などにより強度が低下するので、これらの影響を考慮した有効断面積によって計算することとした。特に、材縁における切欠きは材の引張強度を著しく低下させるので注意が必要である。

(2) 有効断面積

引張材に大きな断面欠損のあることは好ましくないので、断面欠損は全断面積の1/4以下とした。

有効断面積としては座金掘りやほぞ穴などの欠込み・彫込みの場合は断面欠損の総和を控除した正味断面積をそのままとてよいが、切欠き・穴がある場合には次によるのがよい。

1) 切欠き

木材の縁部に切欠きを作ると、応力の偏在をまねくので、引張強度は著しく低くなる。切欠き部の有効断面積 A_e は実験から求めた(解 5.2.1)式によるのがよい。(図 - 解 5.2.1 参照)

$$A_e = b(h - h') \times 0.5 \quad (\text{解 5.2.1})$$

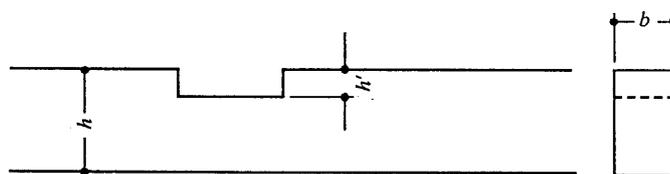


図 - 解 5.2.1 切欠き断面

2) 孔

引張部材の中央部に図 - 解 5.2.2 のような丸い孔を持つ場合の有効断面積 A_e は(解 5.2.2)式によるのがよい。なお、孔の位置が材中央部から材縁部に片寄っている場合は、さらに断面を低減することが必要である。

$$A_e = (1 - \sqrt{d/h}) bh \quad (\text{解 5.2.2})$$

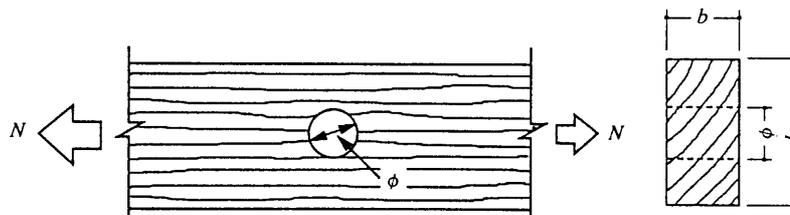


図 - 解 5.2.2 引張材における丸孔

(3) 注意事項

木材の引張接合は、十分な応力伝達と剛性が確保されるように設計する。また、材の年輪の傾斜・節・干割れなどは強度・安全性の低下となる。図 - 解 5.2.3 に示すような接合部では、偏心応力を受けるので、余長を十分にとり、かい木と補助ボルトなどを用いるのがよい。

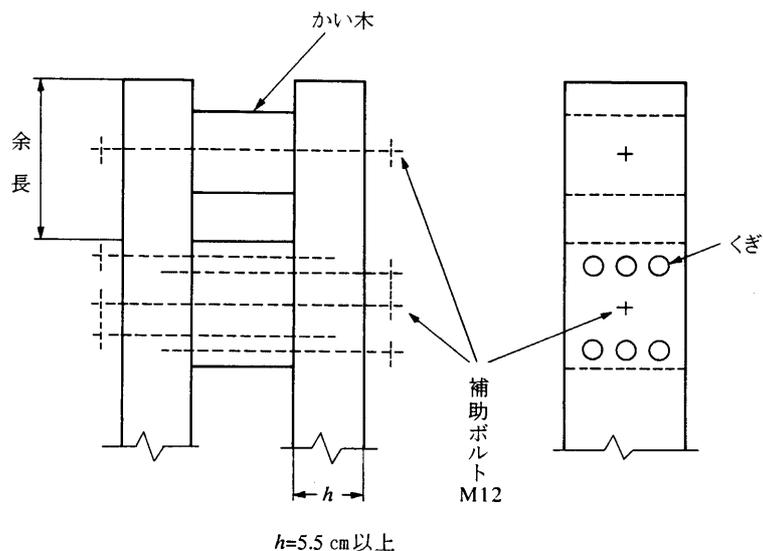


図 - 解 5.2.3 引張材の材端

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.3 圧縮材

5.3.1 単一圧縮材

(1) 算定式

1 軸方向中心荷重を受ける単一圧縮材の作用応力度は、原則として (5.3.1) 式によって算定する。

$$\frac{N}{A} \leq f_c \quad (5.3.1)$$

記号 N : 設計用軸方向圧縮力 (N)

A : 全断面積 (mm^2)

λ : 材の細長比に応じて決定する座屈低減係数

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm^2)

(2) 座屈調整係数

座屈調整係数 ϕ は材の細長比 λ に応じて、原則として次式により算出する。

$$\begin{aligned} \lambda < 30 & \quad \phi = 1 \\ 30 < \lambda < 100 & \quad \phi = 1.3 - 0.01\lambda \\ \lambda > 100 & \quad \phi = 3000/\lambda^2 \end{aligned} \quad (5.3.3)$$

なお、 λ が 100 以上で実験によってヤング係数を求めた場合は、短期許容圧縮力 sN (N) は、次式によって求めることができる。

$$\sigma_N = \sqrt{2 E A_e / \dots} \quad (5.3.4)$$

記号 E : 設計用ヤング係数 (N/mm²) で
 材料個々について試験した場合 $E = 2/3 \times E_0$
 抜取り試験をした場合 $E = 1/2 \times E_0$
 (E_0 : 実験で求めたヤング係数)
 A_e : 有効断面 (mm²)
 : 細長比

(3) 細長比

圧縮材の細長比 は、原則として (5.3.5) 式から算出する。

ただし細長比は 150 以下とする。

$$\begin{aligned} &= l_k / i && (5.3.5) \\ i &= \sqrt{I/A} && = h/3.46 \quad \dots \text{長方形断面の場合} \\ & && = D/4.0 \quad \dots \text{円形断面の場合} \end{aligned}$$

記号 l_k : (4) 項に示す座屈長さ (mm)
 i : 座屈方向の断面 2 次半径 (mm)
 I : 全断面積に対する座屈方向の断面 2 次モーメント (mm⁴)
 A : 全断面積 (mm²)
 h : 長方形断面の座屈方向の材せい (mm)
 D : 円形断面の直径 (mm)

(4) 座屈長さ

圧縮材の座屈長さ l_k は、原則として材長及び材端の状況に応じて定める。

- a) 材の両端が移動せず、かつ、材端がピン支持とみなしうるときの座屈長さ l_k は材長に等しくとる。
- b) 材端が移動する場合、あるいは材の途中の変位が拘束され、又は、材端の回転が拘束される場合は、それぞれに応じて座屈長さを増し、あるいは減じる。
- c) 通常の場合、次によることができる。
 -) 柱材では主要横架材間の距離
 -) トラス部材では、構面内の座屈に対しては節点間の距離、構面外の座屈に対しては筋かい・母家・方づえその他によって側方へ移動しないように支承した支点間の距離

) 方づえ・筋かい・支柱などではその材長

) 部材の両半分が異なった大きさの圧縮力 N_1 、 N_2 ($N_1 > N_2$) を受ける場合、その座屈長さ l_k は (5.3.6) 式により、式 (5.3.1) の N として N_1 をとる。

$$l_k = l \left(0.75 + 0.25 \times \frac{N_2}{N_1} \right) \quad (5.3.6)$$

記号 l : 材長 (mm)

(1) 算定式

軸方向中心荷重を受ける単一圧縮材が、設計圧縮力 N を受ける場合は (5.3.1) 式を満足すればよい。材の断面については、軽微な穴などによる耐力低下は少ないと考えられ、その場合には欠損断面を考慮しない全断面積としてよい。ただし、欠込みの存在により、偏心による曲げモーメントが生じる場合については、5.5「複合応力を受ける材」による。

なお、許容座屈応力度は細長比に関係するので、圧縮長柱の設計は材断面を仮定し、その妥当性を検討することとなる。

(2) 許容座屈応力度 f_k

) 軸方向中心荷重を受ける断面が一様な圧縮材の座屈荷重を P_k とし、材の断面積を A とすれば、座屈応力度 $F_k = P_k/A$ は材の細長比 λ に関係し、 $\lambda > 100$ の弾性範囲では、

$$P_k = \frac{c}{l^2} EI \quad F_k = \frac{c}{2} \frac{^2E}{\lambda^2} \quad (\text{解 5.3.1})$$

記号 c : 端部の支持条件により定まる定数

が実験結果とよく一致する。 $\lambda < 100$ では塑性座屈するので通常実験近似式を用いる。普通構造材では、弾性係数と圧縮強度の間に $E = 300F_c$ の関係があるので、この関係をオイラー式に代入し、材端をピン ($c = 1$) として近似強度式に変換すると

$$\lambda > 100 \text{ に対し: } F_k = \frac{c}{2} \frac{^2E}{\lambda^2} = \frac{3000f_c}{2\lambda^2} \quad (\text{解 5.3.2})$$

となる。ここで、 F_k 、 F_c を許容応力度 f_k 、 f_c におきかえれば下式となる。

$$f_k = \frac{3000f_c}{2\lambda^2} \quad (\text{解 5.3.3})$$

$\lambda < 100$ では直線式を採用し、 $\lambda = 30$ では許容圧縮応力度 f_c となり、 $\lambda = 100$ で上式に接続する式として次式を得る (図 - 解 5.3.1)。

$$\lambda = 30 \sim 100 \text{ に対し: } f_k = (1.3 - 0.01 \lambda) f_c \quad (\text{解 5.3.4})$$

座屈調整係数 ϕ は材の細長比 λ に応じて (5.3.3) 式となる。細長比 λ に応じた ϕ 値を

表 - 解 5.3.1 に示す。

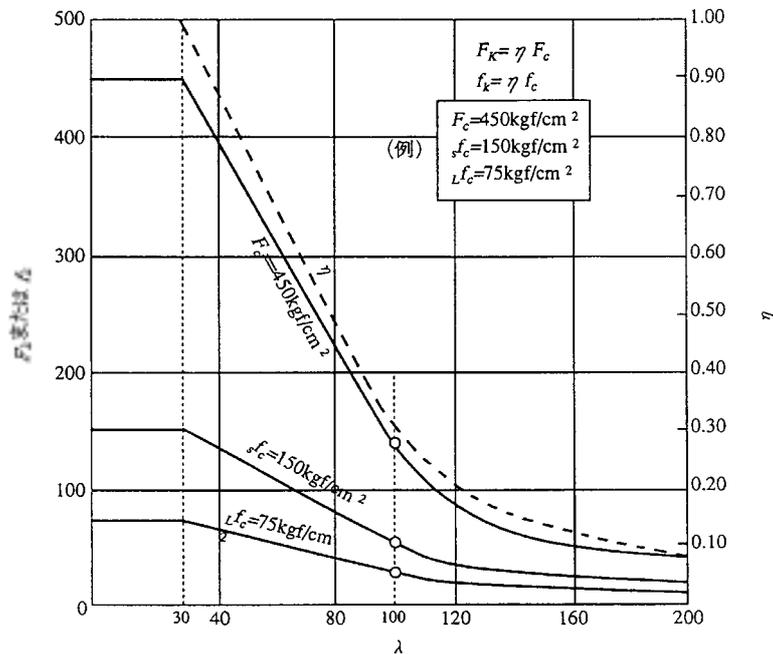


図 - 解 5.3.1 細長比と許容座屈応力度、座屈調整係数との関係

表 - 解 5.3.1 座屈調整係数

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	1.00	.99	.98	.97	.96	.95	.94	.93	.92	.91
40	.90	.89	.88	.87	.86	.85	.84	.83	.82	.81
50	.80	.79	.78	.77	.76	.75	.74	.73	.72	.71
60	.70	.69	.68	.67	.66	.65	.64	.63	.62	.61
70	.60	.59	.58	.57	.56	.55	.54	.53	.52	.51
80	.50	.49	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.42	.41
90	.40	.39	.38	.37	.36	.35	.34	.33	.32	.31
100	.30	.29	.29	.28	.28	.27	.27	.26	.26	.25
110	.25	.24	.24	.23	.23	.23	.22	.22	.22	.21
120	.21	.20	.20	.20	.20	.19	.19	.19	.18	.18
130	.18	.17	.17	.17	.17	.16	.16	.16	.16	.16
140	.15	.15	.15	.15	.14	.14	.14	.14	.14	.14
150	.13									

) 実験によってヤング係数 E_0 を求めた場合で、 λ が 100 以上の場合には、短期座屈応力度は (5.3.4) 式によって決めてよいこととした。弾性座屈計算を行う場合で、実際に使用する材料のヤング係数が明確な場合には、材料特性の実況を反映させた設計を行うことが望ましいからである。

実験によってヤング係数 E_0 を求めたときは、材料個々について試験を行った場合と、抜き取り試験によった場合の 2 つに区分し、安全係数を前者は 2/3、後者を 1/2 として、

設計用ヤング係数 E をそれぞれ $2/3 E_0$ と $1/2 E_0$ とし、この E を用いてオイラー式によって短期座屈応力度 $s f_k$ を求める。

座屈式では許容座屈応力度に達する以前は、材は圧縮変形のみを生じ、座屈応力度に達した瞬間に、材軸に直角方向へ湾曲すると仮定している。しかし実際には、年輪の片寄り、心材と辺材の剛性の違いなどによって、材断面の剛性は図心に対して偏心しており、また市販木材柱には一般に $0.5 \sim 2.0 l_k \times 10^{-3}$ の元たわみがあるといわれる。

これらの偏心や元たわみなどによって、材は積荷直後より湾曲しはじめ、計算上の座屈荷重の約 80% で湾曲は最大となる。このときの湾曲による変形量は、市販木材で細長比 λ が 100 以上の場合には $2.45 l_k \times 10^{-3}$ に達する。座屈荷重の低下は安全率で補正できるが、湾曲変形の補正はできないので、変形を問題とするところでは十分な注意が必要である。雪国などでは、しばしば戸と柱の間にすき間ができたります。

長期の継続荷重がかかる場合の許容座屈応力度は、短柱 (30) では長期許容圧縮応力度をとる。

長柱は、短期的実験により求めた比例限度 ($2/3 \cdot F_c$) よりクリープ限度は小さく、 $\lambda = 50 \sim 100$ の範囲では、座屈クリープ限度は偏心荷重を受けたときの座屈強度の 50 ~ 70% に存在すると推定されている。

これらの結果をふまえて、長柱に対しては圧縮材のもつ元湾曲及び荷重の不可避な偏心による横たわみが発達することを考慮して、短期荷重に対する値の 1/2 と仮定した。すなわち、細長比 λ の全範囲にわたって長期は短期の 1/2 にとることとしている。

長期荷重による変形は、材料・荷重条件・経過年数などによって異なるので、各条件下の相対クリープ推定曲線を計算によって求めて設計することもひとつの方法である。しかし、木材単一柱では、圧縮クリープひずみの終局値は、比例限度以下では、載荷直後の初期弾性ひずみと等しく、したがって全ひずみは初期弾性ひずみの 2 倍と考えるとよいであろう。

集成材の場合、ヤング係数と圧縮強度の関係は製材品と必ずしも同じではない。したがって、細長比が 100 以上の場合、集成材の弱軸方向の EI を用いてオイラーの式により座屈応力度を求める。このとき、短期座屈応力度の算出に際しては、その集成材に与えられた E の値を、長期座屈応力度の算出に際しては $E/2$ の値を採用する。また、細長比が 30 未満の場合には、その集成材に与えられた許容圧縮応力度を用いる。さらに、細長比が 30 を超え、100 未満の場合、許容圧縮応力度と細長比 100 の場合

の座屈応力度の間を、直線補間して求める。

(3) 細長比

1 本の材で、断面軸によって断面寸法や端部及び途中の支え方が異なる場合には、不利となる細長比をとる。細長比に、最大 150 の制限があるのは、あまり圧縮材が細長いと長期間に思わぬ材の変形を生じたり、施工時に損傷したり、欠点の影響が大きく作用するなどの、不具合を避けるためである。

切欠きのある圧縮材についての研究はこれまでに十分研究されているとは言えないが、表 - 解 5.3.2 の様なモデル実験例があるので参考に掲載しておく。これによると、年輪と直角な切欠きがある場合は、切欠き深さに比例して座屈荷重の低下があるが、年輪と平行な切欠きで両欠きの場合は切込み量にかかわらず一定である。切込み量と同じ場合、片欠きより両欠きが切欠きの影響は少ない。

表 - 解 5.3.2 切欠きのある場合の座屈荷重比（一方向座屈変形、 $\lambda = 100$ ）

切欠き 欠損率	両欠き		片欠き		1. 試験体 べいつが 3cm × 3cm × 80m 2. 切欠き
	年輪に直角	年輪に平行	年輪に直角	年輪に平行	
0	0.57	0.46	0.57	0.46	
1/4	1.28 (0.53)	1.02 (0.42)	1.03 (0.43)	1.21 (0.50)	
1/3	1.58 (0.47)	1.66 (0.49)	1.27 (0.38)	1.28 (0.38)	
2/5	2.07 (0.45)	2.32 (0.50)	1.43 (0.31)	1.54 (0.33)	

(注)(実験による座屈荷重) / (残存断面を用いたオイラー座屈荷重)

()内の値:(実験座屈荷重) / (切欠きのない原断面を用いたオイラー座屈荷重)

欠込みが材に沿って長い範囲にわたるときや、さらに切欠きが大きいときはその影響を考慮する必要があるが、一般には細長比算出のときの断面 2 次モーメント I は、残存断面で設計すれば安全である。

(4) 座屈長さ

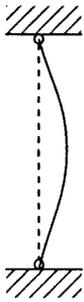
座屈長さは材端の支持状況によって決まり、オイラー式を用い

$$P_k = \frac{c}{l^2} EI = \frac{EI}{\left(\frac{l}{\sqrt{c}}\right)^2} = \frac{EI}{l_k^2} \quad (\text{解 5.3.6})$$

と変形すれば、座屈長さ $l_k = \frac{l}{\sqrt{c}} = \frac{l}{\sqrt{c}} \times l$ である。 l は実長である。材端の支持状況に

応じた座屈長さ l_k は表 - 解 5.3.3 となるが、実際には支持・構造の状況に応じて適当な増減を行う。

表 - 解 5.3.3 座屈長さ

				
l_k	l	$0.5l$	$0.7l$	$2l$
C	1	4	2	1/4

) 柱材

普通の柱では両端横架材の心々距離を、束類では実長を座屈長さ l_k にとる。方づえ付きの柱では構面内の座屈に対する座屈長さ l_k を次式で求める。

$$l_k = q \left(h - \frac{h'}{2} \right) \quad (\text{解 5.3.7})$$

q は表 - 解 5.3.4 による。

表 - 解 5.3.4 (解 5.3.7) 式の q の値

剛比 $k = \frac{K_{be}}{k_c}$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	
柱頭が水平移動するとき		2.64	2.33	2.22	2.17	2.13	2.11	2.08	2.00
柱頭が水平移動しないとき	1.00	0.92	0.88	0.84	0.82	0.80	0.79	0.78	0.70

(注) $k_c = I_c/h$

I_c : 柱の断面 2 次モーメント

$K_{be} = s \cdot c \cdot K_b$

I_b : 梁の断面 2 次モーメント

$$S = \frac{l}{l - 4E_b \cdot K_b \cdot c}$$

K_b : 梁の剛度 (= I_b/l)

s : 剛性低下率

c : 方づえが圧縮又は引張のみに効く場合 3/4
圧縮・引張両方に効く場合 1.5

E_b : 梁のヤング係数

: 表 - 解 5.3.5

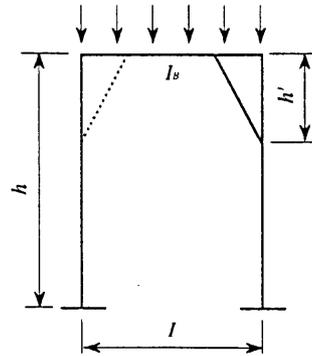


図 - 解 5.3.2 方づえ付きの柱の座屈長さ

表 - 解 5.3.5 方づえ仕口の変角率 (1/N・mm)

方づえ突付き (ボルト締め)	$(29.4 \sim 19.5) \times 10^{-7} \frac{500\text{mm}}{h'\text{mm}}$
方づえはさみ止め (ボルト締め)	$(24.5 \sim 17.0) \times 10^{-7} \frac{500\text{mm}}{h'\text{mm}}$

) トラス部材

トラス部材では変形を拘束されている支点間距離をとればよい。図 - 解 5.3.3 のトラスの上弦材では、トラス面内では AB 間距離をとる。構面外座屈には、組母家間距離 AC をとればよいが、図の上弦材のように材の両半分の圧縮力が異なる場合は (5.3.6) 式の略算法によって座屈長さを求める。

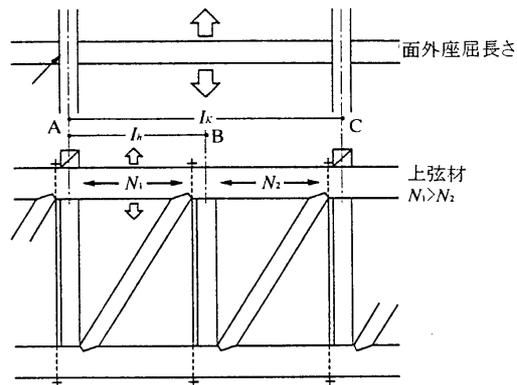


図 - 解 5.3.3 トラス部材の座屈長さ

図 - 解 5.3.4 のように単純充腹柱を 2 方向で支持した場合は、 l_1/d_1 と l_2/d_2 のうち大きい方の値を使う。しかし、 $l_e/d \leq 50$ (l_e : 有効座屈長) でなければならない。

図 - 解 5.3.5 は米国における柱の細長比と許容圧縮応力度 f'_c との関係を示す。

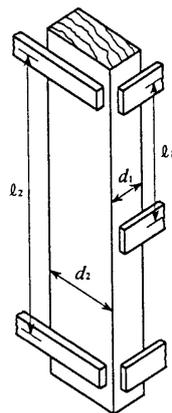


図 - 解 5.3.4 2 方向で支持された単純充腹柱

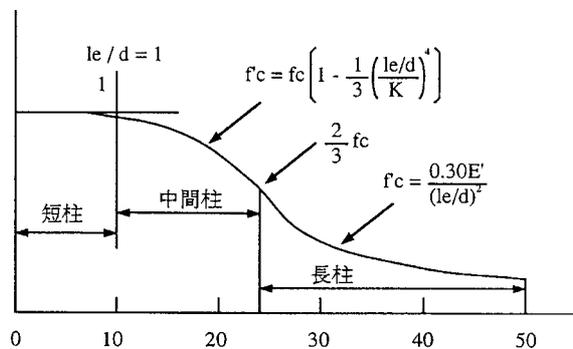


図 - 解 5.3.5 柱の細長比と調整係数との関係

5.3.2 複合圧縮材

(1) 算定式

中心荷重を受ける複合圧縮材の断面は、原則として単一圧縮材に準じて算定する。この場合、細長比の算定にあたっては、有効断面二次モーメントとして次の値をとる。

ただし、原則として主材全長の細長比は 200 以下、主材のつなぎ間細長比は 60 以下とする。

a) 充腹軸 $x - x$ に関しては各主材の断面二次モーメントの和

b) 非充腹軸 $y - y$ に関しては (5.3.7) 式に示す有効断面二次モーメント

$$I_e = I_1 \quad (5.3.7)$$

記号 I_1 : $y - y$ 軸に平行な各主材の重心軸に関する断面二次モーメントの和

: (2) 項から求められる有効率

なお、あき率 $= a/h$ とする。

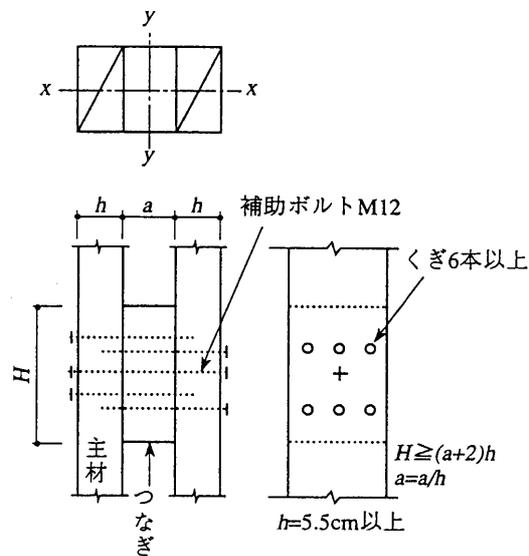


図 - 5.3.1 つなぎ材の接合

(2) 断面二次モーメント有効率

の値は、(3) 項から求める剛比 k に応じて、原則として次のように定める。

a) 2 主材からなり、両端のみ、あるいは両端と中央において、つなぎ材により止めつけた場合は表 - 5.3.1 から求める。

b) 2 主材からなり、両端及び 3 分点以上においてつなぎにより止めつけた場合、またはこれに代わる構造のものに対しては表 - 5.3.2 から求める。

c) 主材数が 3 以上でつなぎ材が両端及び 3 分点以上の場合には、表 - 5.3.2 の値の 1.2 倍とすることができる。

表 - 5.3.1 両端配置あるいは両端、中央の 3 点配置のときの有効率

k \	0	1
0.5	1.5	1.7
1	1.8	2.2
2	2.0	2.6
3	2.1	2.8
5	2.2	3.1
10 以上	2.3	3.4

表 - 5.3.2 両端及びその間をつなぎ材で 3 分割以上としたときの有効率

k \	0	1	2	3
0.5	1.7	2.2	2.4	2.5
1	2.0	3.0	3.3	3.5
2	2.4	3.9	4.7	5.0
3	2.6	4.5	5.7	6.3
5	2.8	5.2	6.8	7.8
10	3.0	6.0	8.1	9.8
20	3.1	6.7	9.2	11.4
30	3.1	7.0	9.7	12.3

(3) つなぎ材の剛比

a) 釘接合を用いたときのつなぎ材の剛比 k の値は、原則として (5.3.8) 式によって算出する。

ただし、つなぎ材の長さは $(+2)h$ 以上で、かつ、所要の釘打ちを施すに十分な大きさでなければならない。

$$k = v \cdot P \cdot l / EA_1 \quad (5.3.8)$$

記号 E, A_1, l : それぞれ主材のヤング係数 (N/mm^2)、断面積 (mm^2) および長さ (mm)

P : つなぎ部の片側主材接合釘の短期許容せん断耐力 (N)

v : 釘接合の種類による係数 (mm^{-1}) で通常 $v = 35$ とする。

$$= 2 \left(\frac{a}{h} + 1 \right) (1 + 0.25 \frac{a}{h}) / \left(\frac{a}{h} + 2 \right) \quad (\text{表 - 5.3.3 参照})$$

表 - 5.3.3 (解 5.3.8) 式の η の値

$\left(\frac{a}{h} \right)$	η
0	1.00
1	1.65
2	2.25
3	2.80

b) 接着接合を用いたときのつなぎ材の剛比 k の値は、原則として (5.3.9) 式によって算出する。

ただし、つなぎ材は主材と同質、幅は主材と等しく、長さは $(\frac{a}{h} + 1)h$ 以上とする。

$$k = 0.05 \frac{E_g \cdot I_g}{l \cdot h} \quad (5.3.9)$$

記号 l, h : それぞれ主材の長さ (mm)、厚さ (mm)

$$\frac{a}{h} = \left(\frac{a}{h} + 1 \right) (1 - \eta / 30) \quad (\text{表 - 5.3.4 参照})$$

表 - 5.3.4 (5.3.9) 式 η_g の値

η_g	η
0	1.00
1	2.00
2	2.80
3	3.60

平行な 2 つの主材の間を数個のつなぎ材で止めつけた複合材の圧縮耐力は、図 - 解 5.3.6 のようにその各主材を柱とし、つなぎ材を剛比 k をもった梁と考えたラーメンの圧縮耐力に等しくなるという考え方から導かれている。単一材の座屈計算と同様複合圧縮材もこのラーメンの曲げおよびせん断変形を合わせて考慮した横荷重によるたわみに対して剛性 (EI_e) を用いて算定する。したがって、細長比算定用には有効断面二次モーメント I_e を用いる。

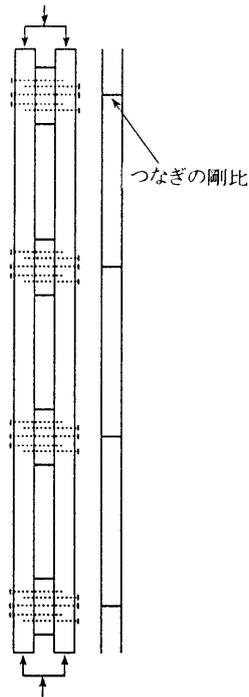


図 - 解 5.3.6 つなぎ材による複合材

(1) 算定式

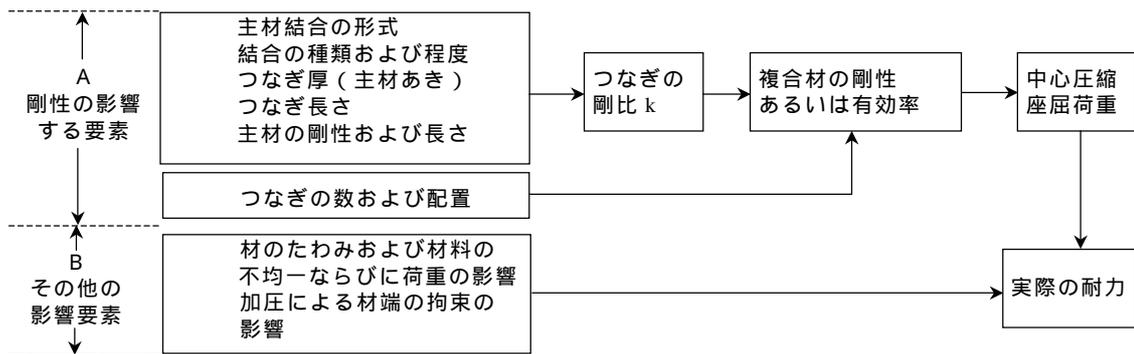
単一圧縮材と同じ計算法による。このときの細長比の算定に用いる断面二次モーメントは、座屈方向に応じて a) b) の条件から求める。なお、部材の細長比の制限は単一材と同一の理由による。

) 充腹軸 $x - x$ (図 - 5.3.1) に関しては複合材の重心軸と各主材断面の重心軸が一致しており、各個材の断面二次モーメントの和が複合材の断面二次モーメントとなる。

) 非充腹軸 $y - y$ に関しては、有効断面二次モーメントを用いる。有効断面二次モーメント I_e は、各々の主材の $y - y$ 軸に関する断面二次モーメントの和に有効率を乗じて求める。

(2) 断面 2 次モーメントの有効率

複合材料の耐力に影響する要素と耐力算定手順は次のようになる。



つなぎ材の剛比を k としたときの置換ラーメンの剛性を理論的に計算して有効率を求めることができ、その数値が表 - 5.3.1、表 - 5.3.2 である。上記 B の影響は、単一圧縮材においても存在するもので、すでに f_k の値の中に考慮されている。また、通常の複合柱について A・B の影響を同時に合わせて考慮すると、耐力に対してやや安全側に働くことになるので、計算上特に B の影響は加算しなくてよい。

(3) つなぎ材の剛比 k

) 釘接合

剛性の影響要素から (5.3.8) 式によってつなぎの剛比 k が求められる。結合形式とつなぎ長さには初めからある程度の構造制限を与え、つなぎ厚(主材あき)を式中の t で与え、結合係数および耐力を ν, P で表し、さらに主材の剛性及び長さの影響を $1/EA_1$ で表している。なお圧入ジベルを用い、ボルト締めをした接合を使用する場合は、釘接合に準じる。

) 接着接合

構造制限のほか、諸影響を含めて (5.3.9) の実験式で k を与えている。いずれも施工がよければ、算定によって検定した耐力で十分であるが、さらに接合部をボルト締めで補強することは、粘りを持たせるので推奨したい。

参考基準類 木構造設計規準・同解説

5.3.3 支圧力に対する考慮

材の接触面に対し、部分圧縮（めり込み）について、原則として（5.3.10）式によって検定する。

$$N/A \leq f_c \quad (5.3.10)$$

記号 N : 設計用軸方向圧縮力の接触面に直角方向の分力 (N)
 A : 接触面積 (mm^2)
 f_c : 繊維と角度 θ をなす方向の許容部分圧縮（めり込み）応力度 (N/mm^2)

材の接触面について部分圧縮（めり込み）については（5.3.10）式によって検定するほか、仕口の変形が構造物全体へ及ぼす影響も大きいので十分な剛性を確保することが必要である。また図 - 解 5.3.7 のように合掌がろく（陸：ほぼ水平な）梁に接するときは、ろく梁にせん断破壊が生じないようにし、接合点の耐力が変形能の大きい圧縮部で決まるように設計する。

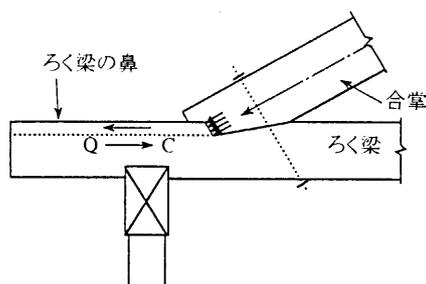


図 - 解 5.3.7 合掌じりの接合面

参考基準類 木構造設計規準・同解説

5.4 曲げ材

5.4.1 横座屈

横座屈をおこすおそれのあるせいの大きい曲げ材の許容曲げ応力度は、原則として（5.4.1）式により低減させる。

$$f'_b = C_b \times f_b \quad (5.4.1)$$

記号 f'_b : 横座屈補正許容曲げ応力度 (N/mm^2)
 C_b : 横座屈補正係数
 f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

横座屈調整係数は、原則として（5.4.2）、（5.4.3）式と表 - 5.4.1 により算定する。

$$C_s = \sqrt{\frac{l_e h}{b^2}} \quad (5.4.2)$$

$$C_k = \sqrt{\frac{0.6 E_{by-y0}}{L f_{bx-x0}}} \quad (5.4.3)$$

- 記号 C_s : 曲げ材の横座屈細長比
 C_k : 横座屈係数
 l_e : 有効横座屈長さ (mm) (表 - 5.4.2 による)
 h : 材せい (mm)
 b : 材幅 (mm)
 E_{by-y0} : ヤング係数 (N/mm²) (y - y 軸)
 $L f_{bx-x0}$: 長期許容曲げ応力度 (N/mm²) (x - x 軸)

表 - 5.4.1 横座屈補正係数

曲げ材の横座屈細長比 C_s	横座屈補正係数 C_b
$C_s \leq 10$	1.00
$10 < C_s \leq C_k$	$1 - \frac{1}{3} \left(\frac{C_s}{C_k} \right)^4$
$C_k < C_s \leq 50$	$\left(\frac{0.4 E_{y-y}}{(C_s)^2 \cdot f_b} \right)$
$50 < C_s$	許容されない

表 - 5.4.2 有効座屈長さ

梁の種類	横座屈長さ l_0	荷重の種類	有効横座屈長さ l_e
単純梁	振れ止め材間の距離	任意	$1.9 l_0$
		等分布	$1.9 l_0$
		両端等モーメント	$1.85 l_0$
		中央集中	$1.6 l_0$
片持ち梁	支持点より先端までの距離	任意	$1.9 l_0$
		自由端集中	$1.7 l_0$
		等分布	$1.25 l_0$

集成材の梁やアーチのように大断面で、かつ材せいの大きい曲げ材の場合、横座屈を防

ぐために剛性の大きい振れ止め材を数多く配置しなければならない。しかし意匠面や施工面から多数の振れ止め材の配置が難しいこともあり、このような場合には、横座屈の危険を考慮して、あらかじめ許容曲げ応力度を低減させておく必要がある。

わが国においても横座屈に対する理論的及び実験的な検討が進められているが、まだ体系化できる段階に達していない。本技術資料では、前記の米国及びカナダの基準に採用されている方法を踏襲し、横座屈による許容曲げ応力度の低減率（横座屈補正係数 C_b ）を導入した。 C_b の計算に際しては、曲げ材の断面寸法にかかわる横座屈細長比 C_s と性能にかかわる横座屈係数 C_k を比較し、横座屈のモードにあった計算式を選択する。

なお、横座屈細長比 C_s は圧縮材の細長比 λ とは異なる。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説、AITC

5.4.2 寸法調整係数

材せいが 30cm を超える曲げ材の寸法調整係数 C_f は、(5.4.4) 式により算定する。

$$C_f = C_l \times C_h \times \left(\frac{30}{h}\right)^{1/9} \quad (5.4.4)$$

記号 C_l : 荷重調整係数

一点集中荷重の場合 : 1.08

等分布荷重の場合 : 1.00

3 分点荷重の場合 : 0.97

C_h : スパン梁せいの調整係数 (表 - 5.4.3 参照)

h : 材せい (cm)

表 - 5.4.3 スパン梁せいの調整係数

スパン/せい	調整係数 C_h
7	1.06
14	1.02
21	1.00
28 ~ 35	0.98

最近の大断面の集成材の曲げ性能の研究によって、材せいの高い曲げ材では曲げ強度がかなり低下することが明らかにされている。しかし、わが国におけるこの種の実験データの蓄積はまだ不十分で、材せいの増加に伴う曲げ強度の低下率を確定できるところまでいたっていない。したがって、本設計基準では米国の基準にならうこととし、材せい 30cm を超える材に対して寸法調整係数 C_f を導入した。

材せいの増加に伴う曲げ強度の低下は、図 - 解 5.4.1 と解 5.4.2 のように小さい材せいでも生じるが、材せい 30cm の許容曲げ応力度を基準として誘導しているため、30cm 以下の曲げ強度の変化は無視し、 C_f は 1.00 一定とする。材せいが 30cm を超える場合には、材せいの増加にともなって C_f が低下し、これに対する曲げ材の負荷状態と材せいに対するスパンの比率の影響も考慮しなければならない。

5.4.3 単一曲げ材

(1) 曲げ応力度の算定

単一曲げ材の曲げ圧縮応力度は、原則として(5.4.5)式により算定する。

$$\frac{M}{Z_e} \leq f_b \quad (5.4.5)$$

記号 M : 設計用曲げモーメント (N・mm)

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

Z_e : 有効断面係数 (mm³)

・有効断面係数の算定

切欠きの有無に応じ有効断面係数 Z_e は(5.4.6)式により算定する。

切欠きのない場合 $Z_e =$ 全断面係数 Z

圧縮側に切欠きのある場合 $Z_e =$ 正味断面係数 Z_o (図 - 5.4.1 参照) (5.4.6)

引張側に切欠きのある場合

(切欠きは材せいの 1/3 以下に制限)(図 - 5.4.2 参照)

切かきがせいの 1/4 以下の場合 $Z_e = 0.60 \times$ 正味断面係数 Z_o

切かきがせいの 1/3 以下の場合 $Z_e = 0.45 \times$ 正味断面係数 Z_o

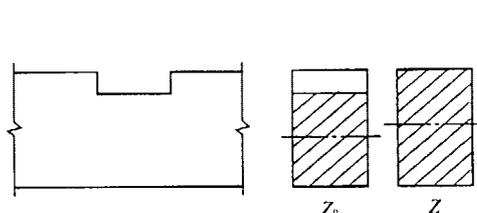


図 - 5.4.1

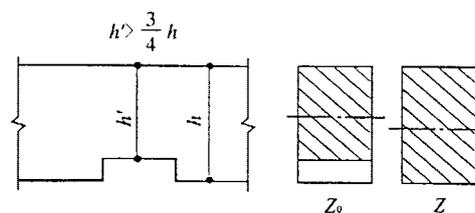


図 - 5.4.2

(2) せん断応力度の算定

a) 算定式

曲げ材のせん断応力度は一般に(5.4.7)式により算定する。

$$\frac{Q}{A_e} \leq f_s \quad (5.4.7)$$

記号 : 断面形状で定まる値で長方形の場合は 3/2

Q : せん断力 (N)

f_s : 許容せん断応力度 (N/mm²)

製材の場合、曲げ材の支持点に切欠きがないものにおいては、その許容応力度として割裂きを伴わない値を採用することができる。

A_e : 有効断面積 (mm²)

支持点付近における有効断面積は切欠きの有無に応じ、(5.4.8)式によって算定する。

切欠きのない場合 $A_e = \text{全断面積 } A$

圧縮側に切欠きのある場合 $A_e = \text{正味断面積 } A_o$ (図 - 5.4.3 参照) (5.4.8)

引張側に切り欠きのある場合 (切欠きは材せいの 1/3 以下に制限)

$A_e = (\text{正味断面積 } A_o)^2 / \text{全断面積 } A$

(図 - 5.4.4 参照)

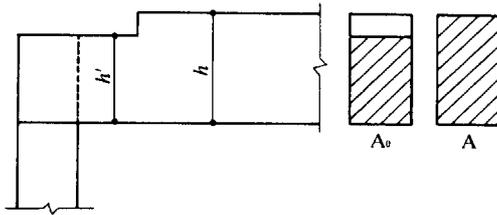


図 - 5.4.3

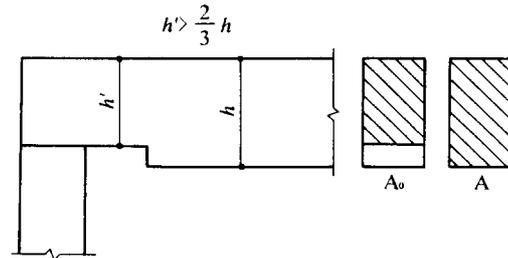


図 - 5.4.4

b) 照査位置

支点からはり高 d だけ離れた位置で応力照査し、0 x d 上の荷重を無視することができる。

(図 - 5.4.5 および 5.4.6 参照)

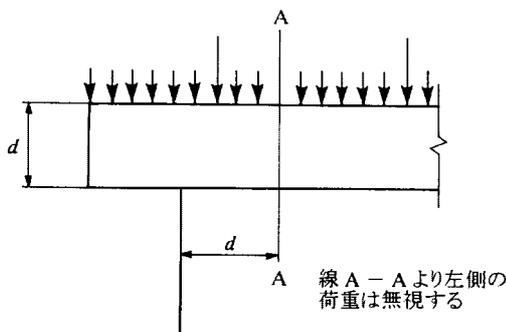


図 - 5.4.5

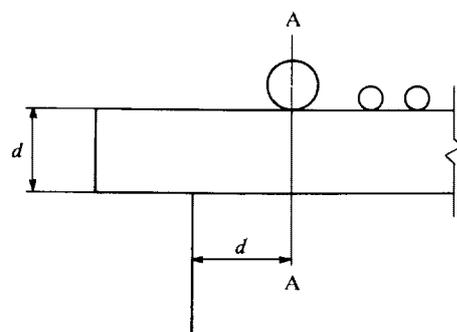


図 - 5.4.6

c) 接合部におけるせん断

図 - 5.4.7 のように、コネクター、ボルトまたはラグスクリューによって接合された接合部の木部せん断応力 f_v は次式で計算することができる。ただし、せん断力は構造解析で求めることができる。

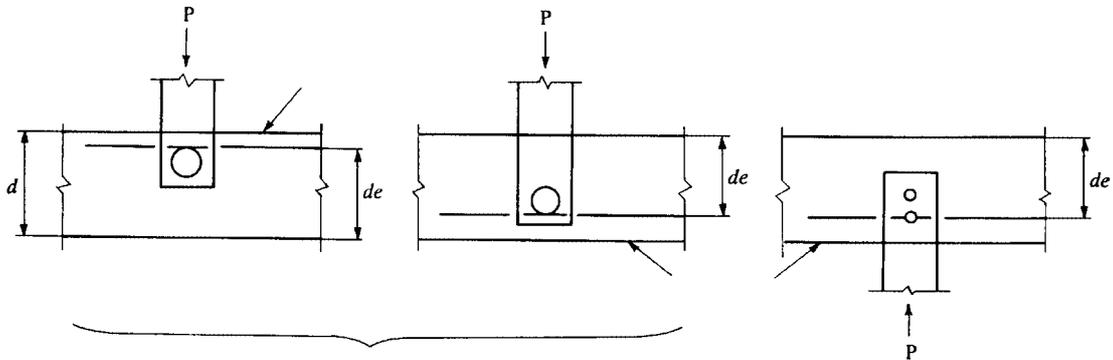


図 - 5.4.7

接合位置がはり端から $5d$ 以上離れているとき。

$$f_v = \frac{3V}{2bde}$$

かつ許容せん断応力は許容応力度の表の値の 50% 増しとすることができる。

接合位置がはり端から $5d$ 未満の場合。

$$f_v = \frac{3V}{2bhe} \left(\frac{h}{he} \right)$$

この場合、許容応力度の割増はしない。

(3) 振れ止め材

材幅に比べて、せいの大きい曲げ材を用いる場合、表 - 5.4.4 により支持部または支点間に振れ止め材を設置することが望ましい。

表 - 5.4.4 材せいの大きい曲げ材の振れ止め材の設置

材せい/材幅	支持部または支点間の振れ止め材
2.5 未満	不要
2.5 ~ 4.0	両端支持部の横移動および回転を拘束する。
4.0 ~ 5.0	支点間に垂木や棒鋼などの振れ止め材を設ける。
5.0 ~ 6.5	両端支持部の横移動および回転を拘束し、かつ曲げ材の圧縮側を床板や根太材で連結する。
6.5 ~ 7.5	材せいの 8 倍以内の間隔で支点間につなぎ材や振れ止め材を設ける。
7.5 ~ 9.0	両端支持部の横移動および回転を拘束し、かつ曲げ材の圧縮側および引張側を板や根太材で連結する。

(4) 剛性

たわみ計算に使用する断面二次モーメントの算定には、根太掛けなどの軽微な局部の切欠きを考慮しなくてもよい。

なお、せん断変形の影響を無視できない梁にあっては、せん断たわみを加算する必要がある。

(5) 主軸以外の方向に曲げを受ける場合

主軸に斜めの力が加わる場合 (図 - 5.4.8) の曲げ応力度は、(5.4.9) 式によって計算することが望ましい。各主軸を含む面内曲げが働く場合もこれに準じる。

$$\left(\frac{M_x}{Z_{ex}} \times \frac{1}{f_{b\ x-x}} + \frac{M_y}{Z_{ey}} \times \frac{1}{f_{b\ y-y}} \right) \leq 1 \quad (5.4.9)$$

記号 M_x : y 分力 P_a による曲げモーメント (N/mm)

M_y : x 分力 P_b による曲げモーメント (N/mm)

Z_{ex} : 軸に関する有効断面係数 (mm³)

Z_{ey} : 軸に関する有効断面係数 (mm³)

$f_{b\ x-x}$ 、 $f_{b\ y-y}$: 各軸に関する許容曲げ応力度 (N/mm²)

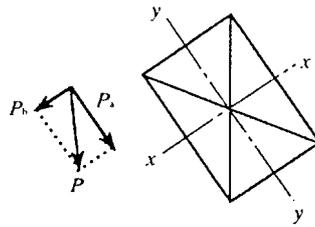


図 - 5.4.8 主軸に斜めの力が加わる場合

(1) 曲げ応力度の算定

曲げ材の縁応力度は、曲げモーメントを断面係数で割って求め、縁応力度が材料の許容される応力度を超えないように断面を算定することは一般の構造力学と変わらない。ただし、切欠きのある部材や不均質な材料を用いる場合には、それらを考慮した有効断面係数を用い、材せいが大きい（30cm を超える）場合にはせん断力の影響などにより曲げ強さが低下するので、その影響を考慮するために許容曲げ応力度に寸法調整係数を導入して、断面を算定することになっている。

(2) せん断応力度の算定

曲げ材の材断面に生じる最大せん断応力度はせん断力を有効断面積で割って求めた平均せん断応力度に断面形状によって決まる係数を掛けて計算し、そのせん断応力度が材料の許容せん断応力度を超えないように曲げ材の断面寸法を算定する。切欠きを持つ部材や不均質な材料を用いる場合には、有効断面積を適宜低減する。

(3) 振れ止め材

材幅に比べてせいの高い曲げ材、例えば屋根根太や床根太のスペンが長い場合、支持部の移動や回転を生じやすいばかりでなく、スペン間で横座屈を起こすおそれがある。特に、反りやねじれを持つ部材ではそのおそれが強く注意を要する。

このような曲げ材の振れを防止するためには、材せいと材幅の比およびスペン長に応じて、曲げ材支持部の拘束、つなぎ材や振れ止め材の設置、曲げ材の板や根太材による連結などの対策を講じる必要がある。表 - 5.4.4 の諸対策はカナダの基準に準拠したものである。

(4) 剛性

単一梁（長方形の充実断面）のたわみ計算にあたっては、特にせん断たわみや根太掛けなど局部の小さな切欠きを考慮する必要はない。

2 種類以上の樹種や等級のラミナによって構成された集成材、ならびに 形・箱

形断面の部材については、次式によって曲げ剛性を算定する。

$$D_q = E_0 I_q \quad (\text{解 5.4.1})$$

記号 D_q : 等価曲げ剛性 (N・mm²)

E_0 : 基準層 (0 層) のヤング係数 (N/mm²)

I_q : 等価断面二次モーメント (mm⁴)

形や箱形など異形断面の場合には、曲げモーメントによるたわみの他にせん断によるたわみを考慮しないと、たわみを過小評価するおそれがある。等分布荷重 w (N/mm) を受ける単純梁のスパン l (mm) 中央のたわみ は次式で表される。

$$= \frac{5}{384} \frac{wl^4}{EI_q} \left[1 + \frac{48}{5} \cdot \frac{l}{b_1 l^2} \left\{ \frac{bh^2}{8} - \frac{h_1^2}{8} (b - b_1) \frac{E}{G} \right\} \right] \quad (\text{解 5.4.2})$$

記号 E : ヤング係数 (N/mm²)

I_q : 等価断面二次モーメント (mm⁴)

b_1 : 材の有効幅 (mm)

b : 材幅 (mm)

h : 材せい (mm)

h_1 : 有効材せい (mm)

G : せん断弾性係数 (N/mm²)

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.4.4 重ね梁および重ね透かし梁

(1) メカニカルな接合具を用いて構成する場合

材を平行に重ね、または平行主材（弦材）の間につなぎ材を設け、ボルト・圧入ジベルなどのメカニカルな接合具を用いて構成する重ね梁または重ね透し梁は、接合具またはつなぎ材の位置に腹材を持ったラーメン梁としてその応力および剛性を算定してよい。この際、つなぎ材の構造および接合方法に応じて腹材および接点に適切な剛性を与え、ラーメンのせん断変形および曲げ変形をともに考慮するものとする。なお、原則として各主材は継手を設けてはならない。

(2) 接着接合により構成する場合

材を平行に重ね全接触面を接着した重ね梁は、基本的に単一材として取り扱ってよいが、剛性および応力度の算定は次の略算法による。

曲げ応力度およびせん断応力度の算定は、梁を単一材とみなして行い、曲げに対しては主材の許容圧縮応力度または許容引張応力度により、せん断に対しては主材の許容せん断応力度ならびに接着面の許容耐力により、それぞれ検定する。なお、原則として、各主材は単一材として継手を設けてはならない。

曲げ変形の使用する曲げ剛性（EI）は、単一材とみなした曲げ剛性に、2材接合の場合 0.9、3材接合の場合 0.8 をそれぞれ乗じたものとする。なお、梁の実験等により梁の曲げ剛性を確認した場合は、それに基づいた曲げ剛性としてよい。

(1) 本項目の詳細に関しては、「木質構造設計規準・同解説」504.4 重ね梁および重ね透し梁（P.190～）の項を参照のこと。

(2) 接着重ね梁の強度および剛性は単一材と同等とみなしてよいが、各構成材の剛性が大きいので施工および材料の選択にあたって次の点に注意する必要がある。

）圧縮圧が高すぎると表面の木質を傷め耐力が低下する。

）木材の合わせに狂いのあるものを無理に圧縮して合わせると木材の反発ではなく離れが生じたり、接着層の厚い部分が収縮して木材表面に割裂はく離が生じたり、また未接着の部分が生じたりする。このような場合は適当なピグメントを用い、収縮量を押さえるとともに、接着剤をなじませることが必要である。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.4.5 テーパー材（集成材）

曲げを受ける変断面材の任意断面における外縁曲げ応力度ならびにせん断応力度は、図 - 5.4.9 における θ の値が極端に大きくないかぎり、任意断面 a - a の断面に基づき 5.4.1 ~ 5.4.3 に示した各式を用いて計算してもよい。

なお、 θ が大きい場合は、これを考慮して外縁曲げ応力度、せん断応力度ならびに垂直方向の引張応力度を計算する必要がある。

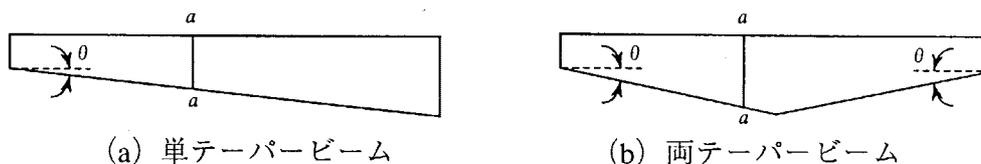


図 - 5.4.9 変断面曲げ材

変断面（テーパー）梁の曲げについては近年理論的実験的な研究が進み、単テーパーおよび両テーパービームの応力と変形に対する厳密計算および有限要素法による数値計算が可能になった。

変断面梁の垂直応力 σ_x 、せん断応力 τ_{xy} 、材軸に直角方向の鉛直応力 σ_y は（解 5.4.3）～（解 5.4.5）式によって表される。

$$\sigma_x = \frac{12M}{bh^3} \left(y - \frac{h}{2} \right) \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{解 5.4.3})$$

$$\tau_{xy} = \frac{6M}{bh^2} \left[3\left(\frac{y}{h}\right)^2 - 2\left(\frac{y}{h}\right) \right] \frac{dh}{dx} + \frac{6}{bh} \left[\frac{y}{h} - \left(\frac{y}{h}\right)^2 \right] \frac{dM}{dx} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{解 5.4.4})$$

$$\sigma_y = \frac{6M}{bh^2} \left(\frac{y}{h}\right)^2 - \left(4\frac{y}{h} - 3\right) \left(\frac{dh}{dx}\right)^2 + \frac{12}{bh} \left(\frac{y}{h}\right)^2 \left(l - \frac{y}{h}\right) \frac{dh}{dx} \cdot \frac{dM}{dx} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (\text{解 5.4.5})$$

記号 b : 材幅 (mm)
 h : 材せい (mm)
 y : 水平な面からの距離 (mm)
 M : 曲げモーメント (N・mm)

$$\frac{dh}{dx} = \tan \theta : \text{勾配}$$

$$\frac{dM}{dx} = Q : \text{せん断力 (N)}$$

勾配が一樣で、かつ曲げモーメントの変化が一樣な変断面梁では、最小材せい h_0 の 2 倍のせいを持つ断面の勾配面で x 、 x_y 、 y が最大となり、それらの値は (解 5.4.6) ~ (解 5.4.8) 式で表される (図 - 解 5.4.12)。

$$x = \frac{3}{2} \frac{M}{bh_0^2} \quad (\text{解 5.4.6})$$

$$x_y = x \tan \theta \quad (\text{解 5.4.7})$$

$$y = x \tan^2 \theta \quad (\text{解 5.4.8})$$

なお、勾配面においては目切れを生じるので、この影響のない程度の勾配にするか、勾配面にさらにひき板を積層接着するのが望ましい。集成材の製造基準では通直部は 1/10、湾曲部は 1/15 を超える勾配をつけないこととし、これを超える部分は有効断面とみなさないことにしている。

参考基準類 木質構造設計基準・同解説

5.4.6 湾曲材 (集成材)

(1) 湾曲部分の許容曲げ応力度 f'_b は (5.4.10) 式の曲率調整係数 k を乗じて修正する。

$$f'_b = k f_b \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5.4.10)$$

$$k = 1 - 2000 \left(\frac{t}{R} \right)^2 \quad (5.4.11)$$

記号 t : ラミナ厚 (mm)

R : 湾曲の中心線における曲率半径 (mm)

(2) せいが一定の長方形断面の湾曲材が曲げモーメントを受けたときに半径方向に生じる最大応力度 σ_R は (5.4.12) 式による。

$$\sigma_R = \frac{3M}{2bh} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5.4.12)$$

記号 M : 曲げモーメント (N・mm)

b : 材幅 (mm)

h : 断面のせい (mm)

R : 湾曲材の中心線における曲率半径 (mm)

a) 曲げモーメントが湾曲を減じる (曲率半径を増す) 方向に働くときの σ_R は引張りであり、この値を集成材の許容せん断応力度の数値の 1/3 以下にするのが

よい。

- b) 曲げモーメントが湾曲を増す（曲径半径を減じる）方向に働くときの σ_r は圧縮であり、この値を集成材の繊維に直角方向の許容圧縮応力度以下にするのがよい。

(3) 長方形変断面の湾曲材が曲げモーメントを受けたときに半径方向に生じる最大応力度は (5.4.13) 式による。

$$\sigma_r = K \frac{6M}{bh^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5.4.13)$$

記号 K : 半径方向応力係数

$$K = A + B\left(\frac{h}{m}\right) + C\left(\frac{h}{m}\right)^2 \quad (5.4.14)$$

記号 m : 湾曲部分中央の曲率半径 (図 - 5.4.10 参照)

A、B、C : 表 - 5.4.5 に示す係数

表 - 5.4.5 半径方向応力係数 K を計算するための係数

	A	B	C
(0.0)	(0.0)	(0.2500)	(0.0)
2.5	0.0079	0.1747	0.1284
5.0	0.0174	0.1251	0.1939
7.5	0.0279	0.0937	0.2162
10.0	0.0391	0.0754	0.2119
15.0	0.0629	0.0619	0.1722
20.0	0.0893	0.0608	0.1393
25.0	0.1214	0.0605	0.1238
30.0	0.1649	0.0603	0.1115

(注) θ は湾曲材と水平部材との勾配 (図 - 5.4.10)

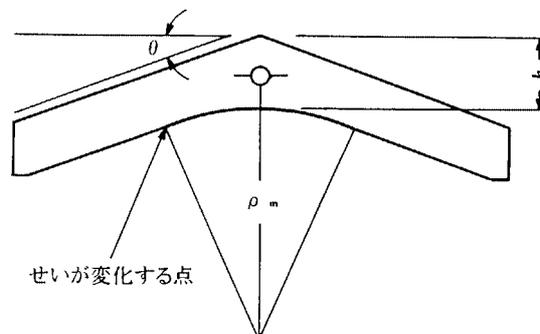


図 - 5.4.10 変断面湾曲材

(1) 湾曲部分の許容曲げ応力度

本文の(5.4.10)式はラミナ厚と曲率半径との比率 t/r が大きくなるほど、 k が小さくなることを示している。しかし、この比率は無制限にとれるものではなく、集成材の製造工程を考えると5mm以下の薄いラミナの使用は難しいので、 t/r を1/100より大きくとるわけにはいかない。

「集成材製造基準」およびJASでは、針葉樹B-2類とその他の樹種群に分けて、それぞれラミナ厚別に許容される最小曲率半径を示している。経済性を考えるとラミナ厚は15mm未満にするのは難しく、このときの安全最小曲率半径は針葉樹B-2類で177cm ($t/r=118$)、その他の樹種群で207cm ($t/r=138$)である。

(2) 長方形断面の湾曲材の半径方向の最大応力度

湾曲材が曲げモーメントを受けたときに半径方向に生じる最大応力度 σ_{Rmax} は(5.4.12)式で与えられる。式中の k の値については、実験的検討の結果、1.5にきわめて近いことが立証されている。

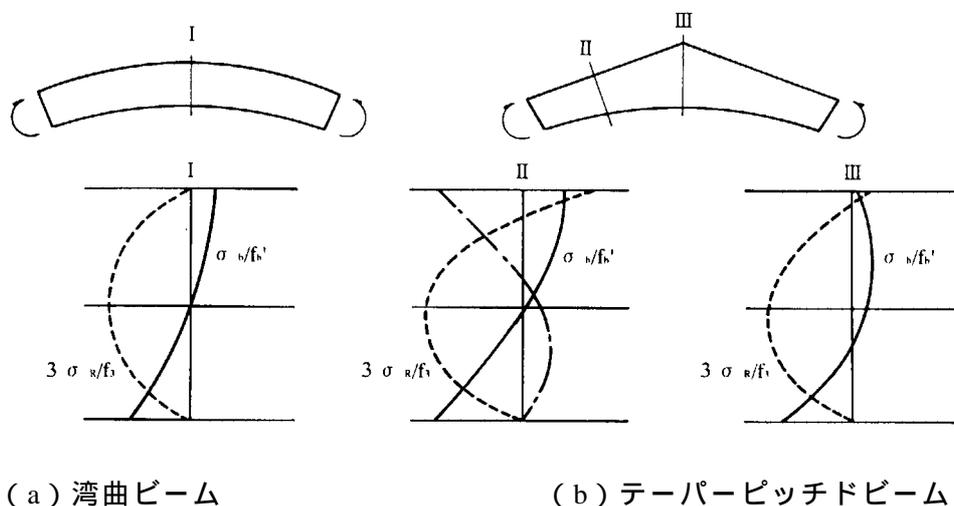
半径方向の応力度 σ_R は中立軸で最大となり、曲げモーメントが湾曲材の曲率を小さくする向きに作用する場合には引張り(実用上は接着層のはく離が問題)、曲率を大きくする向きに作用する場合には圧縮となる。これらに対応する集成材の許容応力度については、米国およびわが国の樹種の無欠点材のJIS標準試験の結果を参考にして、引張りの σ_R の許容せん断応力度の1/3以下、圧縮の σ_R を繊維に直角方向の許容圧縮応力度以下におさえる。

(3) 変断面の湾曲材の半径方向の最大応力度

近年、材せいが長手方向に変化する湾曲集成材(テーパードビーム)の需要が増えている。従来、この種のビームに対しては、材せいの变化する部分を除いた一定せいの湾曲部分について前記(2)の方法で半径方向の応力度 σ_R を計算したので、かなり安全側の設計となっていた。最近、この種のビームの応力解析が進み、米国などにおいてその設計法が確率されたので、その成果を本基準にも取り入れることにする。材せいが変化する長方形断面の湾曲材が曲げモーメントを受けたときに半径方向に生じる最大応力度は(5.4.13)式で表されている。

式中のA、B、Cは応力解析および実験によって立証された係数であり、表-5.4.5に示される数値を用いるとよい。なお、テーパードビームの場合と同様に勾配をあまり大きくしないこと、勾配面にさらにひき板を積層接着することなどの配慮を要する。

参考のため、湾曲ビームおよびテーパピッチドビームの曲げ・せん断・半径方向の応力をそれぞれ許容応力度で割って無次元化した場合の分布について試算したものを（林業試験場 藤井毅による）を図 - 解 5.4.3 に示す。



(a) 湾曲ビーム (b) テーパピッチドビーム
 図 - 解 5.4.3 湾曲ビームおよびテーパピッチドビームの
 曲げ・せん断・半径方向の応力度の分布

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.5 複合応力を受ける材

(1) 曲げを伴う引張材

曲げを伴う引張材の断面は、(5.5.1) 式によって算定する。

$$\frac{N}{A_e} + \frac{f_t}{f_b} \cdot \frac{M}{Z_e} \leq f_t \quad (5.5.1)$$

- 記号 N : 設計用軸方向引張力 (N)
 M : 設計用曲げモーメント (N・mm)
 A_e : 有効断面積 (mm²)
 Z_e : 有効断面係数 (mm³)
 C_f : 寸法調整係数

単一材については 5.4.3 参照、複合材についてはその結合方法に応じた値をとる。
 集成材による変断面材については、引張側断面係数を実断面について算定する。

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

(2) 曲げを伴う圧縮材

一般に曲げを伴う圧縮材の断面は、(5.5.2)式によって算定することが望ましい。

$$\frac{N}{A_e} + \frac{f_c}{f_b} \cdot \frac{M}{Z_e C_f} \leq f_c \quad (5.5.2)$$

記号 N : 設計用軸方向引張力 (N)

M : 設計用曲げモーメント (N・mm)

A_e : 正味断面積 (mm²)

Z_e : 有効断面係数 (mm³)

C_f : 寸法調整係数

: 座屈調整係数 (5.3.1(2)b) 参照)

単一材については 5.4.3 参照、複合材についてはその結合方法に応じた値をとることが望ましい。

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

(1) 曲げを伴う引張材

天井荷重を受ける洋小屋組のろく梁、偏心引張力を受ける部材などは(5.5.1)式によって断面を算定する。この場合、長期、短期の両応力について検討することが必要である。理論的には軸方向引張力によって曲げモーメントは減少することになるが、(5.5.1)式を用いれば、安全側となるので、通常は設計用曲げモーメントとして見掛けの値をとる。

(2) 曲げを伴う圧縮材

小屋組の合掌、方づえ付き柱、偏心圧縮力を受ける材などは(5.5.2)式によって設計する。この式は理論的には根拠がなく、便宜的な算式で、 $N=0$ とすれば曲げ材に対する(5.4.5)式、 $M=0$ とすれば圧縮材に対する(5.3.1)式となるのが特徴である。曲げを伴う圧縮材の耐力を示す理論式は複雑な形で求められ、それは実験結果とおおむね一致する。

なお、一般に長柱は曲げ変形を伴う座屈、短柱は圧縮の現象を示すが、いずれの場合においても変形の見地から見れば、最大強度の2/3を短期応力に対する許容値にと

ることは妥当であり、実際の木柱の持つ欠点、材端の拘束状態などを考慮すると便宜的な(5.5.2)式は、全細長比に対しておおむね妥当な値を示しており、実用的には差し支えないといえる。

参考規準類 木質構造設計規準・同解説

5.6 接合部の設計

5.6.1 総則

(1) 適用の範囲

本節は、メカニカルな接合具を用いた木材同士あるいは鋼板との接合部ならびに接着剤を用いた接合に適用する。

(2) 許容耐力・使用耐力

メカニカルな接合部の許容耐力・使用耐力・終局耐力を定めるに当たっては、比重(樹種)、設計断面、荷重角度、接合具の個数・配置・間隔、偏心、木材の含水率等の影響を考慮する。

1) 許容耐力

接合部の許容耐力は、接合の種類に応じて部材の許容耐力の値に係数を乗じて求めることが望ましい。

2) 使用耐力

接合部の使用耐力は、接合部の許容変形量に応じて接合部の許容耐力の範囲内で定めることが望ましい。

(3) 接合部の設計に使う樹種グループと基準比重

接合部の設計においては、樹種を比重によって表-5.6.1に示す3つのグループに分けて取り扱うことができる。なお、対応する樹種グループについては、下限気乾比重(含水率15%時)を参考に便宜的に示したものであり、使用する木材の比重を特定できる場合には、それにしたがうことができる。

表 - 5.6.1 接合部の設計に使う樹種グループと基準比重

樹種グループ		比重*
J1	べいまつ・くろまつ・あかまつ・からまつ・つが	0.42
J2	べいひ・べいつが・ひば・ひのき・もみ	0.37
J3	とどまつ・えぞまつ・べにまつ・スプルス・すぎ・べいすぎ	0.32

(注) *樹種グループ内の下限気乾比重(含水率15%)の下限値

(4) 荷重角度(荷重と木材繊維のなす角度)

荷重角度とは、1つの接合具に加わる力の合力方向と部材の長軸のなす角度をいう。荷重角度が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲の許容耐力は(5.6.1)式により計算することができる。

$$R = \frac{R_0 \cdot R_{90}}{R_0 \sin^2 + R_{90} \cos^2} \quad (5.6.1)$$

記号 R : 角度 θ のときの許容耐力(N)

R_0 : 繊維方向の許容耐力(N)

R_{90} : 繊維に直角方向の許容耐力(N)

θ : 荷重角度(度)

(5) 設計に際しては、「木質構造設計規準・同解説」に準じて行うものとする。

(1) 許容耐力・使用耐力

各種接合具のそれぞれの許容耐力の値を決定する方針および各種接合具に共通な事項について述べる。

接合部は各種の応力に対して十分な強さと、使用上支障のない剛性の両方を同時に備えていなければならない。これが接合部の許容耐力を決める基本であり、接合部に対する耐力試験から得られる荷重変位曲線に基づいて決められる。短期応力に対する許容耐力は、一般に最大耐力を安全率で除して求める。しかし、許容耐力に対応する変位が許容変位を超えるような場合には、許容変位に対する耐力を求め、これを使用耐力とする。例えば、釘・ジベルの類では許容変位に対する耐力 P と(最大荷重 P) / (安全率 v) の小さい方をとる。すなわち、図 - 解 5.6.1 のような荷重変位曲線を示す A、B 2 種の接合具において、A では $A P / v$ で表される許容耐力で設計してよいが、B では変位が大きいため $B P$ で表される使用耐力で設計する必

要がある。

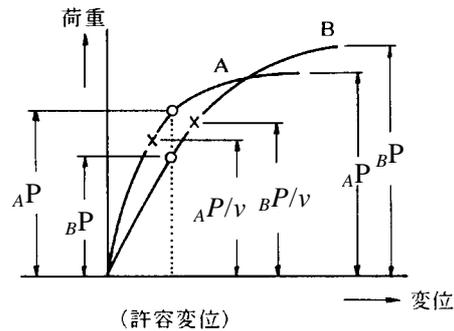


図 - 解 5.6.1 許容耐力と使用耐力

この場合、許容変位 と安全率 ν の値は、本来構造物や骨組みの形式および使用目的によって決めるべき値である。例えば、トラス形式の構造物を設計する場合、まず予想荷重に対しそのトラスの変形をどの程度まで許容するかを決まると、それに応じ各接合部の変位を何 mm まで許容できるかが求まる。これがこの場合の許容変位の値となるわけで、このように設計対象によって決めるべきものである。また用途が限定されているものについては、特定の変位量を基準におく場合もある。例えば、トラスに使われるメタルプレートでは、許容変位 を 0.38mm としている。

安全率 ν の値も同様に構造物や荷重の状況に応じて決めるのが基本である。したがって、接合部の許容耐力をあらかじめ一律に決めておくことはこの点からははなは不合理なわけであるが、設計のたびにいちいちこれを考慮することは煩わしく不便でもあるので、通常、比較的スパンの大きい骨組構造を対象に考え、強さの安全率 ν を 2 ~ 1.5 程度に選ぶ。ところで、変形が特に重要視される構造物では、その許容変位を小さく押さえる必要があり、逆に軽微な小屋組や節点の少ない構造物ではこれを大きくしても差し支えない。したがって、使用耐力は構造物に応じてその値を低減あるいは増加するのが妥当である。

接合具には多くの種類があり、材料・形・接合機構・施工法がそれぞれ異なるので、使用にあたっては接合部の持つべき強さ・剛性・粘り・クリープなどの性能についての要求に応じた最も適切なものを選ばなければならない。一般に、施工が打込みあるいは圧入圧締の系統のもの剛性が大きい。また材料のせん断あるいは摩擦によって抵抗する系統のもの破壊はもろく、粘りに乏しいものが多い。例えば、引抜力をうける釘などは初期剛性は大きい粘りはない。

トラス梁のような組立梁の変形は、節点における材の仕口の影響が大きく、むしろ梁全体の変形性状は仕口のみの変形によるそれと同じである。接合部の変形性状ならびに許容耐力Pに等しい応力が作用したときの変形量の概数を示したのが図 - 解 5.6.2 (a) (b) および表 - 解 5.6.1 で、接合部に応力 N が作用したときの変形量は、表 - 解 5.6.1 の数値を N/P 倍すれば概算できる。胴付き仕口など通常施工上のゆるみが存在するものでは、上記の値にゆるみ量を加算したものが処女変形量となる。なお、材の継手などに添え板を使用したとき、その継手の変形は上記で考えた 1 個に対する変形の 2 倍となること、またトラス材などでその両端に仕口のある場合、その材の仕口による変形は両端のものの和となることに注意を要する。

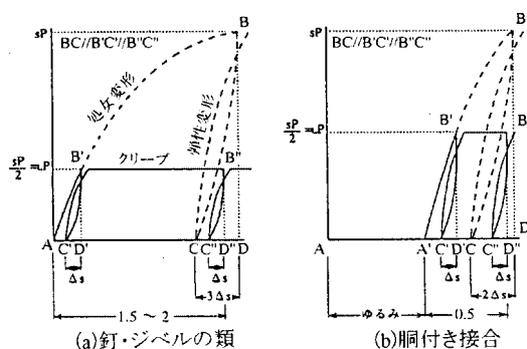


図 - 解 5.6.2

表 - 解 5.6.1 接合部の許容耐力時の変形量 (mm)

接合方法	初期変形の場合		弾性変形および振動障害に対する場合、短期 (S) 長期 (L) とも
	短期荷重 (S)	長期荷重 (L)	
釘の類	2	荷重を受けてまもなくの場合 0.2	0.1
圧力ジベルの類		クリープしたのち 1.5	
突付け仕口の類	0.5 かつ、ゆるみ量加算	荷重を受けてまもなくの場合 0.2 クリープしたのち 0.5 いずれもゆるみ量を加算	0.1

長期応力に対する許容耐力は、接合のクリープ限度の値をとるのが普通である。これは、材料の長期許容応力度の値としてそのクリープ限度をとったのと同様である。木材継手のクリープに関して、従来、竹山および久田の実験結果によると、次のことが示されている。すなわち、打込みジベルのようにつめのような一局部に大きい応力の集中する形式のものは、しゃち・輪形ジベルのように接合具上に比較的応力が均等に分布されるものよりもクリープに対して不利である。(特に初期にクリープが急激

に進む)。さらに、長期許容耐力相当の荷重を釘およびこまジベル継手に加えた長期載荷実験の結果によれば、約 3000 時間後に変位が安定して、その大きさは 1mm 内外であり、さらに長期にわたってもその終局クリープ量は 2mm 以内にとどまるものとみられる。なお、長期許容耐力によるクリープが安定した後に、短期荷重が作用した場合の弾性的性質は、静的荷重処女実験における性質と大差なく、すなわち長期許容耐力程度の荷重によるクリープ履歴は継手の短期荷重時の性質に著しい影響を与えないということも知られている。

(2) 接合部の設計に使う樹種グループと基準比重

一般に、接合耐力と木材の比重との間には高い相関関係が存在していることが知られている。そこで、接合部設計の便に供するため、比重を基準にして樹種グループ分けを行ったものが表 - 解 5.6.2 である。

表 - 解 5.6.2 接合部の設計に使う樹種グループと基準比重

樹種グループ		比重	
		平均値	下限値
J1	べいまつ・くろまつ・あかまつ・からまつ・つが	0.50	0.42
J2	べいひ・べいつが・ひば・ひのき・もみ	0.44	0.37
J3	とどまつ・えぞまつ・べにまつ・スプルス・すぎ・べいすぎ	0.38	0.32

ただし、表中の比重は、含水率 15% のときのもので、平均値は、グループ中で最も低い樹種の比重の平均値を、下限値は、「平均値 - (1.645 × 標準偏差)」から求めた 5% 下限値を表している。比重の一樹種内の変動係数は、一律に 10% としている。

樹木は生育条件によって早く成長したり、逆にゆっくり成長したりする。したがって、木材の性質は、樹木の生育環境に大きく依存し、同じ樹種であっても材質が異なることが一般である。接合耐力を考えるにあたっては、単に樹種名を考慮するだけではなく、使用する木材の比重が表 - 解 5.6.2 に示されている値を満足しているかどうかにも注意を払う必要がある。

最近では、従来のように天然林だけでなく人工林からも木材が伐り出されるようになってきているが、一般に人工林からの木材は生長が早く、樹齢が若い場合には天然林からのものと若干材質特性が異なるものもあるので、こういった注意が必要である。

ここに示した樹種グループ分けは、あくまでも設計の便を考えて行ったもので、使用する木材の樹種が特定できる場合、あるいは比重や強度に関する情報が十分にある

場合にはこの表にこだわることなく、それらのデータに基づいて許容耐力を求めてよい。

(3) 荷重角度（荷重と木材繊維のなす角度）

木材は、直交異方性材料で、木材繊維と荷重とのなす角度が大きくなるに従って、強度が減少していく。この傾向は、図 - 解 5.6.3 から看取される。このような関係は、ハンキンソン式で表すことができるが、その式中の三角函数のべき乗の値を2乗としたのが(5.6.1)式である。接合部の耐力も木材の強度と同じであると考え、同一の式で許容耐力を算出するようになっている。図 - 解 5.6.3 では、接合の例として、ドリフトピンの場合の耐力を示した。

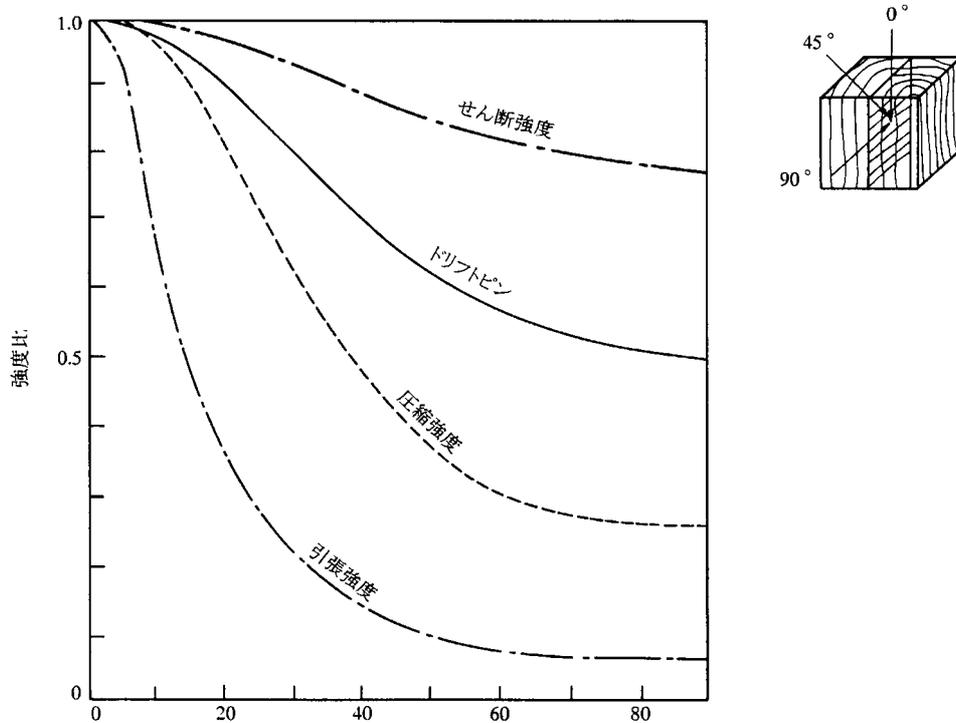


図 - 解 5.6.3 荷重と木材繊維とのなす角度

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

参考実験 試験1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験

試験2 アーチリブ接合部の構造確認試験

試験3 接合部の構造確認試験

試験4 ラーメン隅角部の構造確認試験

試験7 トラスの接合試験

5.6.2 釘

(1) 釘の品質

釘は、原則として、JIS A 5508 (くぎ) に規定される品質と同等以上の品質を有するものとする。

(2) 釘接合の許容せん断耐力

1) 一面せん断に対する許容耐力

木材の側面 (繊維と直角方向) に打たれた釘の長期許容一面せん断耐力 P は、木材の繊維の方向に対する力の方向にかかわらず (5.6.2) 式を用いて求めることができる。ただし、側材厚は釘径の 6 倍以上、釘の長さは側材厚の 2.5 倍以上を標準とする。

$$P = Kd^{1.8} \quad (N) \quad (5.6.2)$$

記号 P : 許容一面せん断耐力 (N)

K : 樹種グループによる係数

J1、J2、J3 に対して、それぞれ、39.6、35.6、31.0 をとる。

d : 釘径 (mm)

2) 二面せん断に対する許容耐力

木材の側面に打たれた釘の許容二面せん断耐力は、許容一面せん断耐力の値の 2 倍にとることができる。ただし、この場合、各材厚は釘径の 6 倍以上とし、釘は 3 材を貫通するか、第 3 番目の材に対して釘径の 9 倍以上打ち込むのを標準とする。

3) 許容せん断耐力の増減

a) 軸方向力を受ける材に多数の釘を打つ場合の釘接合の許容せん断耐力は、次の割合に従って低減した値を用いることができる。

加力の方向に並ぶ釘 1 列の数が 10 以上の場合 10%

加力の方向に並ぶ釘 1 列の数が 20 以上の場合 20%

b) 側材が鋼板 (厚さが釘径の 0.4 倍以上) の場合には、許容せん断耐力を 25% 増加させることができる。

c) 接合材の樹種が異なる場合の許容耐力は、耐力の小さい樹種に対する値とする。

d) 施工時や使用状態での木材の含水率が 20% 以上の場合は、乾燥状態の許容せ

- せん断耐力を $2/3$ に低減することが望ましい。
- e) 平打ち以外の釘の打ち方（木口打ち・斜め打ち）の場合のせん断耐力は、実状に応じて適切に低減することが望ましい。
- f) 釘にさびが生じる恐れのある場合には、適切な防せい処理を施す。

4) 注意事項

a) 釘打ち本数

接合部 1 箇所 の釘の本数は 2 本以上を標準とする。

b) 釘の配置

板に対する釘の配置の最小間隔等は、表 - 5.6.2 による。この場合、原則として釘は材の繊維に対して乱に打つものとする。

表 - 5.6.2 板に対する釘配置等の最小間隔 d : 釘径 (mm)

加力が繊維方向の場合	加力方向	釘間隔	$12d$
		釘側圧縮の作用する側の端距離	$15d$
	加力に直角方向	釘列間隔	$5d$
		縁距離	$5d$
加力が繊維に直角方向の場合	加力方向	釘間隔	$8d$
		縁距離	$8d$
	加力に直角方向	同一繊維上	$10d$
		釘間隔	
	端距離	$10d$	

c) 割れに対する考慮

繊維方向の釘間隔については、板厚が薄いものまたは割れやすい材においては、特に打ち込みによって割れを生じないように間隔を大きくすることが望ましい。

(3) 合板を側材とする釘接合の許容せん断耐力

1) 許容一面せん断耐力

木材の側面（繊維に直角方向）に打たれた釘の長期許容一面せん断耐力 P は、木材の繊維または合板表板の繊維に対する力の方向にかかわらず、(5.6.2) 式または (5.6.3) 式で求めた値のうち、小さいほうの値とする。ただし、ここに定める許容耐力は胴径が 2.7mm 以上の釘に適用するものとし、釘の長さは側材厚の 3.5 倍以上、かつ、主材に打ち込まれる部分の釘長さは釘径の 9 倍以上を標準と

する。

$$P = 6.5 \cdot p^{1.5} \cdot t^{0.75} \cdot d_h^{1.7} \text{ (N)} \quad (5.6.3)$$

記号 d_h : 釘頭部の直径 (mm)

p : 合板の比重

t : 合板の厚さ (mm)

ここで p の値は、表 - 5.6.1 の数値を用いることができる。ラワン合板は J1 と同等とする。2 以上の樹種で構成された合板については低いほうの数値を用いる。

2) 許容二面せん断耐力

木材の側面に打たれた長期許容二面せん断耐力は、一面せん断に対する許容耐力の値の 2 倍にとることができる。ただし、この場合、釘は合板を貫通し、釘径の 5 倍以上の部分折り曲げ無ければならない。

3) 合板の釘の配置

釘の間隔、縁距離、端距離は表 5-6-2 の数値を用いることができる。側材 (合板) の寸法は、短期許容耐力の 2 倍の力が作用しても、合板が破断しない大きさとする。

4) 許容耐力の増減

合板を側材とする場合も(2)の3)に準じて許容耐力を低減することができる。

(4) 許容引抜耐力

1) 釘の許容引抜耐力

木材の繊維に直角方向に打たれた釘の長期許容引抜耐力 P_w は、(5.6.4)式によることができる。ただし、釘の主材に打ち込まれ部分の長さが釘径の 6 倍以上で、かつ、打込みによって材に割れを生じないことが必要である。

$$P_w = 14.7 \cdot d^{2.5} \cdot l \text{ (N)} \quad (5.6.4)$$

記号 : 木材の気乾比重

d : 釘径 (mm)

l : 打ち込まれた長さ (mm)

2) 許容耐力の増減

表面加工あるいは表面処理を施した特殊釘の引抜きに対する許容耐力は実験によって定めることが望ましい。

3) 注意事項

- a) 構造耐力上主要な部分において釘を引抜方向に抵抗させることは、避けなければならない。
- b) 木口面に打たれた釘を引抜力に抵抗させることはできない。
- c) 側材の釘頭に貫通に対する抵抗が引抜耐力より小さい場合には、釘頭貫通抵抗値を釘接合部の耐力とすることができる。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.6.3 ドリフトピン

(1) ドリフトピンの品質

ドリフトピンは、原則として JIS G 3191 に規定された SS400 相当の鋼棒から切り出されたものを用いることを標準とする。

(2) ドリフトピン接合の許容せん断耐力

1) 算定式

ドリフトピン接合の長期許容せん断耐力 P_a は (5.6.5) 式による。ただし、ドリフトピン接合では加力時にドリフトピンの変形に伴う部材間の開きが生じないようにボルトやラグスクリュー等を併用すると同時に、ドリフトピンが経年により脱落しないための措置を講ずること。

$$P_a = \frac{1}{3} P_y \text{ (N)} \quad (5.6.5)$$

記号 P_y : ドリフトピン接合の降伏耐力 (N)

2) ドリフトピン接合の降伏耐力

ドリフトピン接合の降伏耐力は P_y (5.6.6) 式による。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \text{ (N)} \quad (5.6.6)$$

記号 F_e : 主材の支圧強度 (N/mm²)

(主材の許容圧縮応力度 f_c の 3 倍とする。)

l : 主材厚 (mm)

d : ドリフトピンの軸径 (mm)

C : 接合形式とその破壊形式によって定まる係数

3) 係数 C の値

係数 C の値は、接合の形式 (図 - 5.6.1 参照) に応じて次の値をとる。ただし、

式中の記号は次による。

- 記号 : 側材厚 / 主材厚 (l'/l)
 : 側材と主材の支圧強度の比 (F_e'/F_e)
 : ドリフトピンの鋼材の基準材料強度と主材の基準支圧強度の比 (F/F_e)
 F : ドリフトピンの鋼材の基準材料強度 (N/mm^2)
 F_e および F_e' : 主材および側材の支圧強度 (N/mm^2)
 l : 主材厚 (mm)
 l' : 副材厚 (mm)
 d : ドリフトピンの軸径 (mm)

(主材および側材の許容圧縮応力度 f_c および f_c' の 3 倍とする。)

) 木材の主材および側材よりなる二面せん断接合

次の 4 式のうち最小値をとる。

$$2, 1, \sqrt{\frac{8 \frac{l'^2}{l^2} (1 + \frac{l'}{l})}{(2 + \frac{l'}{l})^2} + \frac{8 \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 + \frac{l'}{l})}} - \frac{2}{2 + \frac{l'}{l}}, \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3(1 + \frac{l'}{l})}}$$

) 木材の主材中央部に鋼板を挿入した二面せん断接合

次の 3 式ののうち最小値をとる。

$$1, \sqrt{2 + \frac{8}{3} \left(\frac{d}{l}\right)^2} - l, \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3}}$$

) 木材と木材による一面せん断接合

次の 6 式のうち最小値をとる。

$$1, \sqrt{\frac{2 \frac{l'^2}{l^2} (1 + \frac{l'}{l}) + \frac{2 \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 + \frac{l'}{l})}}{1 + \frac{l'}{l}} - (1 + \frac{l'}{l})}$$

$$\sqrt{\frac{2 \frac{l'^2}{l^2} (1 + \frac{l'}{l})}{(2 + \frac{l'}{l})^2} + \frac{2 \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 + \frac{l'}{l})}} - \frac{2}{2 + \frac{l'}{l}},$$

$$\sqrt{\frac{2 \frac{l'^2}{l^2} (1 + \frac{l'}{l})}{(2 + \frac{l'}{l})^2} + \frac{2 \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 + \frac{l'}{l})}} - \frac{2}{2 + \frac{l'}{l}}, \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3(1 + \frac{l'}{l})}}$$

4) 許容耐力の低減

ドリフトピンを多数本使用した接合部の許容せん断耐力は、ドリフトピンが先孔に密着するような精密な施工を行う場合に限り、各ドリフトピン接合の許容耐

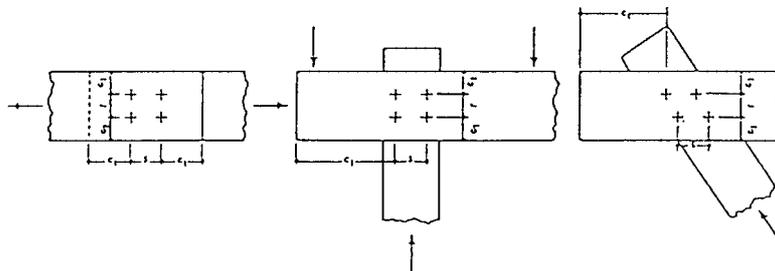
力の和としてよい。ただし、使用本数が多数であって、力の作用条件、使用状況、施工精度によりドリフトピン1本当たりの耐力が低下するおそれがある場合には、許容せん断耐力を適切に低減することが望ましい。

(3) ドリフトピンの配置

1) せん断を受けるドリフトピンの配置は、表 - 5.6.4 による。

表 - 5.6.4 ドリフトピンの配置

距離・間隔	加力方向		
	繊維方向	繊維に直角	中間角度
s	$7d$ 以上	$3d$ ($l/d = 2$) $3d \sim 5d$ ($2 < l/d < 6$) $5d$ 以上 ($l/d \geq 6$)	角度に応じて繊維方向と繊維に直角方向の値の中間値をとる
r	$3d$ 以上	$4d$ 以上	
e_1	$7d$ 以上 (荷重負担側) $4d$ 以上 (荷重非負担側)	$7d$ 以上	
e_2	$1.5d$ 以上 $l/d > 6$ のときは $1.5d$ 以上かつ $r/2$ 以上	$4d$ 以上 (荷重負担側) $1.5d$ 以上 (荷重非負担側)	



(注) d : ドリフトピンの径

2) 部材が引張りを受ける接合部においては、部材の有効断面の引張応力度が許容引張応力度を超えないようにする。

3) l/d が小さい場合は、 e 、 s の値を上記に定める規定よりなるべく大きくとることが望ましい。

(4) 注意事項

a) ドリフトピン接合ではボルトやラグスクリュー等を併用し、加力時にドリフトピンの変形に伴う部材間の開きが生じないようにすることが望ましい。

b) ドリフトピンの使用にあたっては、ドリフトピンとピン孔のすき間の存在により、構造部に支障をきたすすべりを生じないように十分注意することが望ましい。

c) ドリフトピンによる接合部では、木材の乾燥にともない接合部にガタや割れを

生じ耐力低下をきたすおそれがあるので、乾燥した木材を用いることが望ましい。
 やむを得ず未乾燥材を使用する場合は、乾燥による割れが生じないように注意する。
 d) 接合部の施工に当たっては、できるだけ各材の孔が一致するようにし、かつできるだけドリフトピンが孔に密着するように孔をあけることが望ましい。

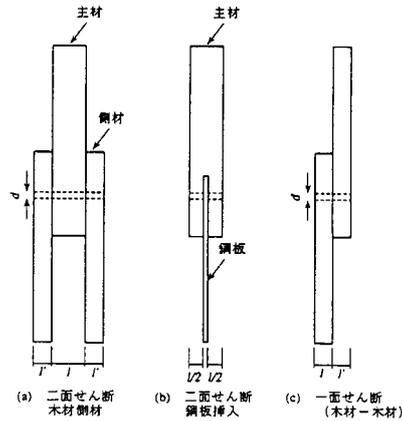


図 - 5.6.1 せん断を受けるドリフトピンの接合形式

ドリフトピンやボルトを用いた接合部の設計に当たっては接合構造の形式によって適切な計算方法を選定する必要がある。大分県木橋のモデル橋に採用した接合構造はドリフトピンとボルトを使用した鋼板インサートタイプであり、接合部のドリフトピンに作用する作用力は以下に示す計算法を用いるものとした。本計算法は「木質構造設計ノート」(日本建築学会、1995年1月)に示されている。

従来からの集成材接合部の強度設計法では、各接合具に作用する荷重は単純に回転中心からの距離 y_i に比例すると仮定して算出する。図 - 解 5.6.4 は、対象とする接合部の中で、回転中心から最も遠い接合具に作用する力を示したものである。

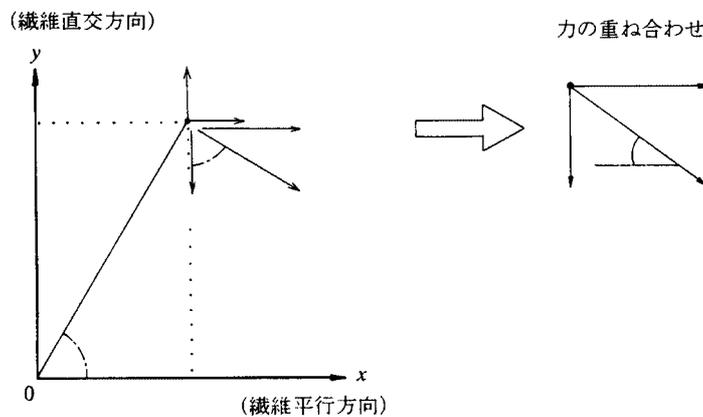


図 - 解 5.6.4 最大の力を受けている接合部に作用する力と合力

[計算手順]

接合部の形状係数
$$Sp = n_s \sum_{i=1}^{n_i} r_i^2 / r_{\max}$$

ただし、 n_i = ドリフトピンの数

r_i = 回転中心から各接合具までの距離

r_{\max} = 回転中心から最も力を受けている接合具までの距離

n_s = せん断面の数

モーメントMによって接合具に作用する力（一せん断面あたり） $F_m = M/S_p$

せん断力Qによって接合具に作用する力（一せん断面あたり） $F_Q = Q/(n_i n_s)$

軸力Nによって接合具に作用する（一せん断面あたり） $F_N = N / (n_i n_s)$

F_m 、 F_Q 、 F_N を合成して合力 F_{res} を計算する。

X - 方向成分の力
$$F_x = F_m (y_{\max}/r_{\max}) + F_N$$

ただし、 y_{\max} = 回転中心から最も力を受けている接合具までの距離の繊維直交方向成分

Y - 方向成分の力
$$F_y = F_m (x_{\max}/r_{\max}) + F_Q$$

ただし、 x_{\max} = 回転中心から最も力を受けている接合具までの距離の繊維平行方向成分

合力の計算

$r_{\max} = \sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}$ で、 F_x と F_y の合力を F_{res} とすると、

$$F_{res} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

参考基資料 通直集成材を用いたラーメン構造の設計法（住宅・木材技術センター）
木質構造設計ノート（日本建築学会）

参考実験 試験 1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験

試験 2 アーチリブ接合部の構造確認試験

試験 3 接合部の構造確認試験

試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験

試験 7 トラスの接合試験

5.6.4 ボルト

(1) ボルト・ナットおよび座金の寸法および品質

1) 品質と寸法

ボルトおよびナットの品質は、原則として、それぞれ JIS B 1180(六角ボルト)、JIS B 1181(六角ナット)に規格を標準とする。

また、ボルトに使用する座金の寸法・厚さを表 - 5.6.6 に示す。

表 - 5.6.6 ボルト座金の寸法および厚さ (mm)

座金の大きさ		ボルト径					
		8	10	12	16	20	24
引張りを受けるボルト	厚さ	4.5	4.5	6	9	9	13
	角座金の一辺	40	50	60	80	105	125
	丸座金の一辺	45	60	70	90	120	140
せん断を受けるボルト	厚さ	3.2	3.2	3.2	4.5	6	6
	角座金の一辺	25	30	35	50	60	70
	丸座金の一辺	30	35	40	60	70	80

2) 形状

- a) ボルト頭はボルトと一体で製作されたものでなくてはならない。
- b) ボルトの長さは所定位置に締め付けたとき、ねじ山が 2 山以上ナットより突き出すよう設定するのがよい。

(2) ボルト接合の許容引張耐力

ボルト接合の長期許容引張耐力 P_t は、(5.6.7) 式と (5.6.8) 式のうち、小さいほうの値をとる。ただし、座金は有害な変形を生じないように十分な厚さを有するものとする。

$$P_t = 0.5F \cdot A_z \text{ (N)} \quad (5.6.7)$$

$$P_t = f_e \cdot A_w \text{ (N)} \quad (5.6.8)$$

記号 F : ボルト鋼材の基準強度 (N/mm²)

f_e : 木材の長期許容めり込み応力度 (N/mm²)

A_z : ボルトの軸断面積 (mm²)

A_w : 座金の面積 (mm²)

(3) ボルト接合の許容せん断耐力

- 1) せん断を受けるボルトの使用にあたっては、ボルトとボルト孔のすき間の存在

により、構造部に支障をきたすすべりを生じないように十分注意する必要がある。

2) ボルト接合の許容せん断耐力

a) 算定式

ボルト接合の許容せん断耐力 P_a は (5.6.9) 式による。

$$P_a = \frac{1}{3} P_y \text{ (N)} \quad (5.6.9)$$

記号 P_y : ボルト接合の降伏耐力 (N)

b) ボルト接合の降伏耐力

ボルト接合の降伏耐力 P_y は、(5.6.10) 式による。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \text{ (N)} \quad (5.6.10)$$

記号 F_e : 主材の基準支圧強度 (N/mm²)
(主材の許容圧縮応力度 f_c の 3 倍とする。)

l : 主材厚 (mm)

d : ボルト径 (mm)

C : 接合形式とその破壊形式によって定まる係数

c) 係数 C の値

係数 C の値は、接合の形式 (図 - 5.6.2 参照) に応じて次の値をとる。ただし、式中の記号は次による。

: 側材厚 / 主材厚 (l'/l)

: 側材と主材の支圧強度の比 (F_e'/F_e)

: ボルトの基準材料強度と主材の基準支圧強度の比 (F/F_e)

F : ボルトの基準材料強度 (N/mm²)

F_e および F_e' : 主材および側材の基準支圧強度 (N/mm²)

l : 主材厚 (mm)

l' : 副材厚 (mm)

d : ドリフトピンの軸径 (mm)

(主材および側材の許容圧縮応力度 f_c および f_c' の 3 倍とする。)

i) 木材の主材および側材よりなる 2 面せん断ボルト接合

次の 4 式のうち最小値をとる。

$$2 \quad , \quad 1, \quad \sqrt{\frac{8 \quad ^2 \quad ^2 (1+ \quad)}{(2 \quad +1)^2} + \frac{8 \quad \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 \quad +1)} - \frac{2}{2 \quad +1}} \quad , \quad \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3(1+ \quad)}}$$

) 木材の主材および鋼板を添え板とする 2 面せん断ボルト接合

次の 2 式のうち最小値をとる。

$$1, \quad \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3}}$$

) 木材の主材の中央部に鋼板を挿入した 2 面せん断ボルト接合

次の 3 式のうち最小値をとる。

$$1, \quad \sqrt{2 + \frac{8}{3} \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1, \quad \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3}}$$

) 木材の主材および側材による 1 面せん断ボルト接合

次の 6 式のうち最小値をとる。

$$1, \quad , \quad \frac{\sqrt{+ 2 \quad ^2 (1+ \quad + \quad ^2) + \quad ^2 \quad ^3 - \quad (1+ \quad)}}{1+ \quad} \quad ,$$

$$\sqrt{\frac{2 \quad (1+ \quad)}{(2 \quad +1)^2} + \frac{2 \quad \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 \quad + \quad)}} - \frac{2}{2+ \quad} \quad ,$$

$$\sqrt{\frac{2 \quad ^2 \quad ^2 (1+ \quad)}{(2 \quad +1)^2} + \frac{2 \quad \left(\frac{d}{l}\right)^2}{3(2 \quad +1)} - \frac{2}{2 \quad +1}} \quad , \quad \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3(1+ \quad)}}$$

) 木材と鋼板による 1 面せん断ボルト接合

次の 3 式のうち最小値をとる。

$$1, \quad \sqrt{2 + \frac{2}{3} \left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1, \quad \frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3}}$$

3) ボルト接合の許容せん断耐力の低減

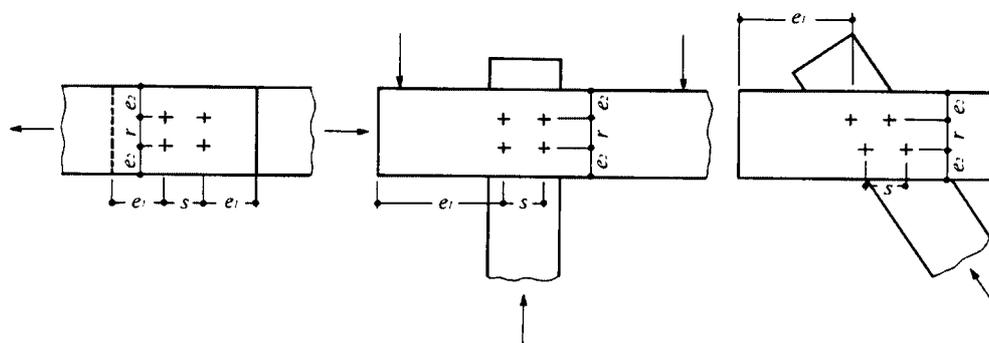
2 本以上のボルトを使用した接合部の許容せん断耐力は、ボルトがボルト孔に密着するような施工を行う場合に限り、各ボルト接合の許容耐力の和としてよい。ただし、使用本数が多数本であって、力の作用条件、使用状況、施工制度によりボルト 1 本当たりの耐力が低下するおそれがある場合には、許容せん断耐力を適切に低減することが望ましい。

(4) せん断を受けるボルトの配置

a) せん断を受けるボルトの配置は、表 - 5.6.7 による。

表 - 5.6.7 せん断を受けるボルトの配置

距離・間隔	加力方向		
	繊維方向	繊維に直角	中間角度
s	$7d$ 以上	$3d$ ($l/d = 2$) $3d \sim 5d$ ($2 < l/d < 6$) $5d$ 以上 ($l/d \geq 6$)	角度に応じて繊維方向と繊維に直角方向の値の中間値をとる
r	$3d$ 以上	$4d$ 以上	
e_1	$7d$ 以上 (荷重負担側) $4d$ 以上 (荷重非負担側)	$7d$ 以上	
e_2	$1.5d$ 以上 $l/d > 6$ のときは $1.5d$ 以上 かつ $r/2$ 以上	$4d$ 以上 (荷重負担側) $1.5d$ 以上 (荷重非負担側)	



b) l/d が小さい場合は、 e_1 、 s の値を上記よりなるべく大きくとることが望ましい。
また、 e_2 、 r の値は、力の作用条件および使用状況を考慮し、適切な値をとることが望ましい。

c) 部材が引張りを受ける接合部においては、原則として部材の有効断面の引張応力度が許容引張応力度を超えてはならない。

d) 木材の繊維に平行方向以外から力を受ける接合部では、原則としてせん断応力度が部材の許容せん断応力度を超えてはならない。

(5) 注意事項

1) ボルト接合部付近に節・目切れなどの欠点がある場合は、許容耐力を適切に低減することが望ましい。

2) ボルト接合部では、木材の乾燥にともない接合部にガタを生じるおそれがあるので、乾燥した木材を用いることが望ましい。やむを得ず未乾燥材を使用する場合は、ボルトを常時締め直すなどの措置を講じるとともに、乾燥による割れが生じないように注意する。

3) せん断を受けるボルト接合部においては、次の事項に注意することが望ましい。

- a) 接合部の施工に当たっては、できるだけ各材の孔が一致するようにし、かつボルトができるだけ孔に密着するように孔をあけることが望ましい。
- b) ボルトの締付けは、ボルトに適切な引張力が生じるように行い、通常座金が木材にわずかにめり込む程度を標準とする。
- c) 変位が重視される接合部にはなるべく太径のボルトを使用し、終局耐力が重要と考えられる接合部には細径のボルトを使用することが望ましい。
- d) 木材の繊維に直角方向および繊維に傾斜する方向に力が加わる場合は、引裂き（割れ）を生じないように適当な処置を講じるとともに、状況に応じて許容耐力を低減することが望ましい。

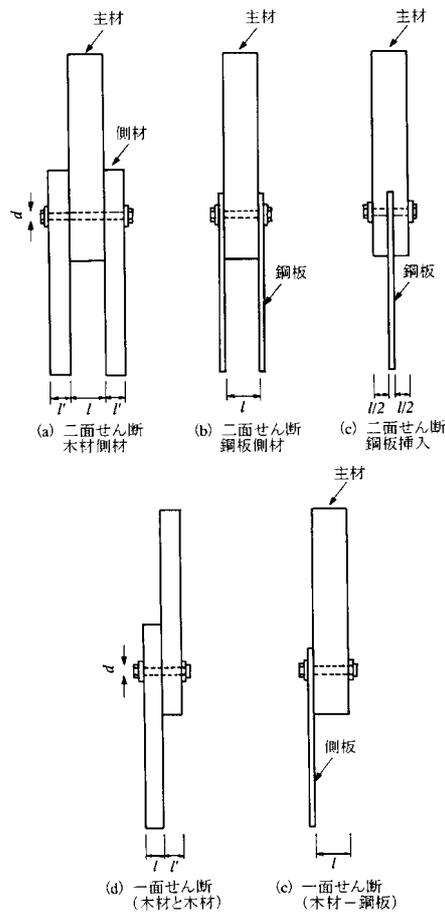


図 - 5.6.2 せん断を受けるボルトの接合形式

(3) ボルト接合の許容せん断耐力

ボルト接合の場合もボルトに作用する作用力は前項のドリフトピンに示した計算方法により算定する。

(5) 注意事項

ボルト接合部付近に節・目切れ・割れなどの欠点があると終局耐力が低下すること

があるので、接合部付近には極力このような欠点がないようにすべきであるが、やむを得ずこのような欠点が存在する場合は許容耐力を適当に低減するなどの措置をとるのがよい。また、ボルト接合に未乾燥材を用いると材の乾燥に伴い接合部にガタを生じるばかりでなく乾燥に伴い部材に割れを生じて接合部の耐力低下を招くおそれがあるため、ボルト接合に未乾燥材を用いることは原則として避けるべきである。やむを得ず未乾燥材にボルト接合を用いるときは許容耐力を低減して用いるとともに、ボルトを常時締め直すなどの措置を行うことが望ましい。

ボルト孔はできるだけボルト径と一致させるようにすることが望ましい。特に節点の多い架構や変位の重視される架構ではボルト孔とボルトのすき間により初期すべりを生じないようにすることが重要である。また、多数本のボルトを一接合部に用いる場合は、ボルト孔とボルトの間にすき間が存在するとボルトの耐力を加算することができない。特に、材厚がボルト径と比べて小さい場合は終局耐力が著しく低下するので許容耐力の低減が必要である。例えば、程度のボルト 6 本を加力方向（繊維方向）に一直列配置した場合、40%程度の耐力低下が報告されている。

さらに、ボルトが先孔にガタがなく接するような精密な加工を施しても、加力方向に多数本のボルトを配した場合、列の両端と中央部ではボルトの負担するせん断力が異なり、中央部のボルトは小さな耐力負担となるので、最大耐力が低下する場合があります。例えば $Ud = 6 \sim 8$ 程度のボルト 10 本（一直列）が繊維方向の加力を受けた場合は、10%程度の耐力の低下が予想される。

ボルト接合部のせん断に対する塑性変形能力および終局耐力は、縁距離、端距離、ボルト間隔等が十分であれば、材厚 - ボルト径比 (Ud) に依存する。 Ud が大きければボルトの曲げ変形により大きな塑性変形を生じ、ボルトが引張りを負担するようになるいわゆるロープ効果などにより、終局耐力は増大する。一方、 Ud が小さいと木材のせん断破壊や割裂により脆性的な破壊を示し、降伏耐力からの荷重の上昇は望めない。したがって、強度型の設計においては太く短いボルトを使うことも可能であるが、靱性に富んだ構造とするためには、細く長いボルトを用いることが望ましい。鋼板を添え板とする二面せん断ボルト接合の場合、こうした塑性変形能力を期待できるのは、 Ud がおおむね 8 以上の場合であるといわれている。

ボルトが孔に密着していると仮定した場合のボルト接合のせん断剛性（主材と側材の単位相対変位量に対するせん断力、初期剛性）については、弾性床上の梁の曲げ理論に基づく Kuenzi の研究等があり理論式を導くことができる。しかしながら、実際のボルト接合ではボルト径とボルト孔の間のすき間のため初期すべりがあり、ボルトと孔表面の面タッチが得られないため直線域のすべり剛性も理論値より小さくなる傾向にある。また、同じ理由により、多数本のボルトを用いた接合部のすべり剛性は、

各ボルトの剛性の単純和よりも大きく低下する傾向にある。したがって、必要に応じ、実験によるかまたはガタを考慮した解析により、すべり剛性を算出することが望ましい。

以下に、参考までに弾性床上の梁の曲げ理論に基づくすべり剛性の理論式を示す。

曲げを受ける弾性床上の梁のたわみに関しては次の微分方程式が成り立つ。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky$$

ここに、 EI : 梁の曲げ剛性

y : 座標 x における梁のたわみ

k : 弾性床の弾性係数

境界条件を入れてこの微分方程式を解くことにより、ボルト 1 本当たりの、各接合方式におけるすべり剛性 K_s は次のように表される。

a) 二面せん断 木材側材

$$K_s = 1 / \left\{ L_1 + L_2 - \frac{(J_1 - J_2)^2}{2(K_1 - K_2)} \right\}$$

b) 二面せん断 鋼材側材

$$K_s = 1/L_1$$

c) 二面せん断 鋼板挿入

$$K_s = 2 / \left(\frac{L_1}{2} + H \right)$$

d) 一面せん断 (木材と木材)

$$K_s = 1 / \left\{ 2 (L_1' + L_2) - \frac{(J_1' - J_2)^2}{2(K_1' - K_2)} \right\}$$

e) 一面せん断 (木材と鋼板)

$$K_s = 1/(2L_1')$$

$$\text{ここに } L_1 = \frac{1}{S_1} \frac{\cosh(\frac{1}{2}a) + \cos(\frac{1}{2}a)}{\sinh(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)}$$

$$L_2 = \frac{2}{S_2} \frac{\sinh(\frac{1}{2}b)\cosh(\frac{1}{2}b) - \sin(\frac{1}{2}b)\cos(\frac{1}{2}b)}{\sinh^2(\frac{1}{2}b) + \sin^2(\frac{1}{2}b)}$$

$$J_1 = \frac{1}{S_1} \frac{\sinh(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)}{\sinh(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)}$$

$$J_2 = \frac{S_2^2}{S_2} \frac{\sinh^2(\frac{1}{2}b) + \sin(\frac{1}{2}b)}{\sinh^2(\frac{1}{2}b) + \sin(\frac{1}{2}b)}$$

$$K_1 = \frac{l_1^3}{S_2} \frac{\cosh(\frac{1}{2}a) + \cos(\frac{1}{2}a)}{\sinh^2(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)}$$

$$K_2 = \frac{S_2^3}{S_2} \frac{\sinh(\frac{1}{2}b)\cosh(\frac{1}{2}b) + \sin(\frac{1}{2}b)\cos(\frac{1}{2}b)}{\sinh^2(\frac{1}{2}b) - \sin^2(\frac{1}{2}b)}$$

$$H = \frac{1}{S_1} \frac{1}{\sinh(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)}$$

$$L_1' = \frac{1}{S_1} \frac{\sinh(\frac{1}{2}a)\cosh(\frac{1}{2}a) - \sin(\frac{1}{2}a)\cos(\frac{1}{2}a)}{\sinh^2(\frac{1}{2}a) - \sin^2(\frac{1}{2}a)}$$

$$J_1' = \frac{1^2}{S_1} \frac{\sinh^2(\frac{1}{2}a) + \sin^2(\frac{1}{2}a)}{\sinh^2(\frac{1}{2}a) + \sin^2(\frac{1}{2}a)}$$

$$K_1' = \frac{1^3}{S_1} \frac{\sinh(\frac{1}{2}a)\cosh(\frac{1}{2}a) + \sin(\frac{1}{2}a)\cos(\frac{1}{2}a)}{\sinh^2(\frac{1}{2}a) - \sin^2(\frac{1}{2}a)}$$

$$S_1 = \left(\frac{S_1}{4EI}\right)^{1/4} \quad S_2 = \left(\frac{S_2}{4EI}\right)^{1/4}$$

E : ボルトの鋼材のヤング係数 (N/mm²)

I : ボルトの断面 2 次モーメント $I = d^4/64$ 、 d は直径 (mm)

a : 主材の厚さ (鋼板挿入の場合は鋼板の厚さを差し引いた値) (mm)

b : 側材の厚さ (mm)

S_1 、 S_2 : 主材および側材のボルトの単位長さあたりのめり込み剛性 (N/mm²)

$$S = kd \text{ (} d \text{ はボルトの直径 (mm))}$$

k : 木材のめり込み剛性 (N/mm²)

木材のめり込み剛性 k については、引張型の丸鋼の面圧試験に基づく平井らの提案、小松の提案によれば、おおむね次の式で与えられる。

$$\text{繊維方向加力の場合} \quad k_0 = E_0/(3.16 + 10.9d)$$

$$\text{繊維直角方向加力の場合} \quad k_{90} = k_0/3.4$$

中間角度の場合 (ハンキンソンの式による)

$$k(\theta) = \frac{k_0 \cdot k_{90}}{k_0 \cdot \sin^2 \theta + k_{90} \cdot \cos^2 \theta}$$

参考基準類 木質構造設計規準・同解説 604

参考実験 試験 1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験

試験 2 アーチリブ接合部の構造確認試験

試験 3 接合部の構造確認試験

試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験

試験 7 トラスの接合試験

5.6.5 ジベル

(1) スプリットリング及びシャーププレートの品質と寸法

形状が規格化されたスプリットリング(直径 64、102)およびシャーププレート(直径 67、102)の材質は、ASTM A47グレード 32510 同等以上を標準とする。

(2) 座金の寸法

スプリットリングおよびシャーププレート接合に使用するボルトの直径および座金の寸法・厚さを表 - 5.6.8 に示す。

表 - 5.6.8 スプリットリングおよびシャーププレート接合用ボルトの直径と

座金の寸法 (mm)

種類	ボルトの直径	角座金の1辺の長さ	丸座金の直径	厚さ
64 スプリットリング	12	50	60	4.5
67 シャーププレート	20	70	80	6.0
102 スプリットリング	20	70	80	6.0
102 シャーププレート	20	70	80	6.0

(3) 設計断面および有効断面

接合部分の母材の有効断面積は、設計断面の全面積からスプリットリングおよびシャーププレートとボルトの投影面積を差し引いて求める。なお、複数個のスプリットリングおよびシャーププレートが径相当の平行方向間隔以内に配置される場合(図 - 5.6.3 で $x < D$ の場合)には、原則としてこれらの面積の合計を差し引いて求める。

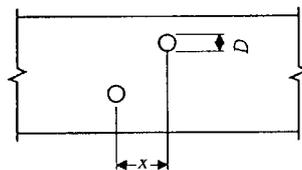


図 - 5.6.3 平行方向の間隔と接合具の直径

設計断面に要求される断面積は、設計断面で伝達される荷重を部材の許容引張り、または許容圧縮応力度で除して求める。

(4) スプリットリングおよびシヤープレート接合の許容せん断耐力

1) スプリットリングおよびシヤープレート 1 個当りの長期許容せん断耐力は、乾燥状態の木材で施工し、乾燥状態で使用する場合に限り、表 - 5.6.9 に示す数値とする。

2) 荷重角度が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲の場合に対する許容せん断耐力は (5.6.1) 式を適用する。

3) 施工時や使用状態で木材が未乾燥である場合は、乾燥状態の許容せん断耐力の $2/3$ に低減することが望ましい。ただし、未乾燥状態で引張部材として使用する場合で、端距離がスプリットリングおよびシヤープレートの直径の 10 倍未満の場合は、許容せん断耐力を 0.4 倍に低減することが望ましい。

4) 端部が直角に切断された木口面に使用する場合は、荷重角度 90° の許容せん断耐力の 60% とすることが望ましい。木口面が斜めに切断されている場合は、(5.6.1) 式を適用して許容耐力を求めることができる。

表 - 5.6.9 スプリットリングおよびシャーププレート接合の許容せん断耐力

(単位：kN)

種類	ボルトの直径	当該部材にあるボルト1本あたりのスプリットリングおよびシャーププレートの数	木材の厚さ (mm)	繊維方向の許容耐力 P(= 0°)			繊維に直角方向の許容耐力 P(= 90°)		
				J1	J2	J3	J1	J2	J3
64mm スプリットリング	12mm	1	25	6.5	5.6	4.7	4.5	3.9	3.3
			38以上	7.7	6.7	5.6	5.4	4.7	3.9
		2	38	6.0	5.2	4.3	4.2	3.6	3.0
			50以上	7.7	6.7	5.6	5.4	4.7	3.9
67mm シャーププレート	20mm	1	38	10.1	8.6	7.4	7.1	6.1	5.2
		2	38	7.8	6.8	5.8	6.5	4.7	4.0
			50	10.3	8.8	7.5	7.3	6.2	5.3
			63以上	10.9	9.3	7.9	7.6	6.6	5.6
102mm スプリットリング	20mm	1	25	11.4	9.9	8.3	7.9	6.9	5.9
			38	16.8	14.5	12.3	11.8	10.2	8.6
			42以上	17.2	14.8	12.5	12.0	10.4	8.8
		2	38	11.5	9.9	8.4	8.0	7.0	5.9
			50	13.7	12.0	10.1	9.6	8.3	7.1
			63	16.3	14.0	12.0	11.4	9.8	8.3
102mm シャーププレート	20mm	1	38	12.4	10.9	9.3	8.7	7.6	6.6
			44以上	18.9	16.6	14.1	13.2	11.6	9.9
102mm シャーププレート	20mm	2	44	12.5	11.0	9.4	8.8	7.6	6.6
			50	14.0	12.3	10.5	9.8	8.6	7.4
			63	16.1	14.0	12.0	11.3	9.8	8.4
			75	18.0	15.7	13.4	12.6	11.0	9.4
			88以上	18.7	16.4	14.0	13.1	11.5	9.8

- (注) (1) J1 ~ J3 は接合用樹種グループを表す (表 - 5.6.1 参照)
- (2) 表に記載されている厚さに満たない木材は使用しない。
- (3) 中間の厚さの木材に対しては直線補間で許容耐力を求める。

(5) スプリットリングおよびシャーププレートの配置間隔

スプリットリングおよびシャーププレートの配置間隔は必要な耐力を発揮できるように十分大きくとることが望ましい。間隔が狭い場合は許容耐力を低減することが望ましい。

1) 最小縁距離と端距離

スプリットリングおよびシャーププレートで許容される最小の縁距離および端距離を表 - 5.6.10 に示す。

表 - 5.6.10 スプリットリングおよびシャーププレートの最小縁距離と端距離

	縁距離 (mm)		端距離 (mm)		
	= 0°	= 45° ~ 90°		圧縮 = 0°	引張 = 0° ~ 90° 圧縮 = 90°
		応力非負担側	応力負担側		
64mm スプリットリング 67mm シャーププレート	44	44	70(100%) ~ 44(83%)	100(100%) ~ 64(62.5%)	140(100%) ~ 70(62.5%)
102mm スプリットリング 102mm シャーププレート	70	70	95(100%) ~ 70(83%)	140(100%) ~ 83(62.5%)	180(100%) ~ 60(62.5%)

- (注) (1) : 荷重角度 (荷重方向と繊維方向とがなす角度) = 0° ~ 90°
- (2) カッコ内は許容耐力の割合で、中間の縁距離、端距離に対しては直線補間で求める。
- (3) 許容耐力の割合の表示のない縁距離は表 - 5.6.9 の許容耐力に対する場合であるが、許容耐力の低減を行ってもこの値を下回ることはいない。
- (4) 荷重角度が = 0° ~ 45° の縁距離および、圧縮荷重時の荷重角度 = 0° ~ 90° の端距離はそれぞれ直線補間で求める。

2) 最小間隔 (接合具軸角度 が 0° または 90° の場合)

接合具軸角度 が 0° または 90° の場合のスプリットリングおよびシャーププレートの配置の最小間隔を表 - 5.6.11 に示す。

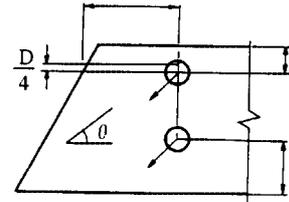


表 - 5.6.11 スプリットリングおよびシャーププレートの最小間隔 (mm)
(接合具軸角度 が 0° または 90° の場合)

	$= 0^\circ$		$= 60^\circ \sim 90^\circ$	
	平行方向間隔	直角方向間隔	平行方向間隔	直角方向間隔
64mm スプリットリング 67mm シャーププレート	170(100%) ~ 90(50%)	90	90	110(100%) ~ 90(50%)
102mm スプリットリング 102mm シャーププレート	230(100%) ~ 130(50%)	130	130	150(100%) ~ 130(50%)

(注) (1) θ = 荷重角度 (荷重方向と繊維方向とがなす角度)

(2) カッコ内は許容耐力の割合で、中間の間隔に対しては直線補間で求める。

(3) 許容耐力の割合の表示のない間隔は表 - 5.6.9 の許容耐力に対するものであるが、許容耐力の低減を行っても、この値を下回ることはいない。

(4) $\theta = 0^\circ \sim 60^\circ$ の最小間隔は直線補間で求める。

3) 最小間隔 (接合具軸角度 が $0^\circ \sim 90^\circ$ の場合)

接合具軸角度 が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲の場合のスプリットリングおよびシャーププレートの配置の最小間隔は次のようにして定める。

a) 表 - 5.6.9 の許容耐力を用いる場合の間隔

まず、荷重角度 θ に基づき、最小間隔 x (接合具軸角度 $= 0^\circ$) および最小間隔 y (接合具軸角度 $= 90^\circ$) を表 - 5.6.12 から求める。

表 - 5.6.12 接合具軸角度 0° または 90° の最小間隔 (mm)

種類	方向 (接合具角度)	荷重角度 (度)			
		0	$< 60^\circ$	0	$< 90^\circ$
64mm スプリットリング 67mm シャーププレート	X ($= 0^\circ$)	170	1.33	90	
	Y ($= 90^\circ$)	90	0.33	110	
102mm スプリットリング 102mm シャーププレート	X ($= 0^\circ$)	230	1.67	130	
	Y ($= 90^\circ$)	130	0.33	150	

次に接合具軸角度 θ に基づいて、木材の繊維に平行方向の間隔 S_0 、直角方向の

間隔 S_{90} を (5.6.11) 式および (5.6.12) 式で求める。

$$S_0 = \sqrt{\frac{x^2 y^2}{x^2 \tan^2 + y^2}} \quad (5.6.11)$$

$$S_{90} = S_0 \tan \quad (5.6.12)$$

b) 表 - 5.6.9 の許容せん断耐力を 50% に低減する場合の間隔

表 - 5.6.11 より、64mm スプリットリング、67mm シヤープレートについては $x = y = 90\text{mm}$ 、102mm スプリットリング、102mm シヤープレートについては $x = y = 130\text{mm}$ であるので、これらの x 、 y を用い、(5.6.11) (5.6.12) 式により求める。

c) 表 - 5.6.9 の許容せん断耐力を 50 ~ 100% の範囲に低減する場合の間隔

50% に低減した場合の S_0 、 S_{90} と低減しない場合の S_0 、 S_{90} との直線補間により求める。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.6.6 ラグスクリュー

(1) ラグスクリューの品質

ラグスクリューは、材質および形状が規格化された一定の品質を有するものとする。

(2) ラグスクリュー接合の許容せん断耐力

1) 側材に鋼板 (厚さ 13mm 以下) を用いた木材の繊維方向の力を受ける場合のラグスクリュー接合の長期許容せん断耐力 P_a は (5.6.13) 式による。

ただし、鋼板の厚さが 13mm を超える場合には許容せん断耐力を低減する。

$$\begin{aligned} 4 \leq l/d \leq 10 \text{ の場合} & \quad P_a = 6.1 \quad dl \text{ (N)} \\ l/d > 10 \text{ の場合} & \quad P_a = 61 \quad d^2 \text{ (N)} \end{aligned} \quad (5.6.13)$$

記号 d : ラグスクリューの軸径 (cm)

l : ラグスクリューの打込み長さ (cm)

: 木材の気乾比重 (表 - 5.6.1 の値を用いてもよい)

なお、鋼材の材質は原則として「鋼構造設計規準」(社)日本建築学会による。

2) 木材の繊維に直角方向に力を受ける場合のラグスクリューの許容せん断耐力は、繊維方向に力を受ける場合の耐力の 1/2 とする。

3) 接合部に複数本のラグスクリューを用いる場合は、許容耐力を適切に低減させることが望ましい。

4) 施工時や使用状態で木材が未乾燥である場合は、乾燥状態の許容せん断耐力の $2/3$ に低減することが望ましい。

5) 荷重角度が $0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲にあるの場合は (5.6.1) 式を適用する。

6) ラグスクリューが木口に打ち込まれた場合の許容せん断耐力は、十分な縁距離を確保できる場合に限り、側面打ちの場合の $2/3$ を取ることが望ましい。

(3) ラグスクリュー接合の許容引抜耐力

1) ラグスクリューのねじ部の単位長さ当りの長期許容引抜耐力 P_w は (5.6.14) 式で求める。

ただし、ラグスクリューのねじ谷径部の応力度が、その材料の許容引張応力度を超えないことを確認する。

$$P_w = 5.9^{0.8} \cdot d \cdot l' \quad (\text{N}) \quad (5.6.14)$$

記号 : 木材の気乾比重 (表 - 5.6.1 の値を用いてもよい)

d : ラグスクリューの直径 (mm)

l' : ラグスクリューの母材への打ち込み長さ (mm)

2) 構造耐力上主要な部分においてラグスクリューを引抜方向に抵抗させることはできるだけ避ける。やむを得ず使用する場合は、側面打ちの場合の許容せん断耐力の $3/4$ を超えない値とする。

(4) せん断と引抜きを同時に受ける場合の許容耐力

荷重が木材の表面に対しある角度をもって作用することにより、ラグスクリュー接合部がせん断と引抜きを同時に受ける場合は、力をせん断と引抜きに分けて検討することが望ましい。

(5) ラグスクリューの配置および座金

ラグスクリューの配置間隔、縁距離および端距離、使用する座金は同じ胴部径のボルトに対する基準を標準とする。

(6) 注意事項

1) 胴部の先穴は胴部の径と同径とし、その長さも胴部と同寸とし、ねじ部の先穴は、樹種グループ J1 でねじ径の $60 \sim 75\%$ 、その他の樹種グループでは $40 \sim 70\%$ とし、その長さは少なくともねじ部の長さと同じにすることが望ましい。

2) ラグスクリューはその先穴にレンチなどで回しながら挿入する。ハンマーなどで打ち込んではいない。なお、挿入を容易にするために、潤滑剤を用いることができる。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.6.7 接着接合

(1) 一般事項

接着接合に要求される条件によって、適切な接着剤の選択および作業を行うことが望ましい。なお、接着接合には、接着剤単独接合とメカニカル（機械的）な接合具を併用する接着剤併用接合がある。

(2) 接着剤単独接合

接着剤単独接合とは、被着材を接着剤だけで接合し、接合部に要求される強度性能を確保する接合である。

1) 接着剤

a) 使用接着剤

接着剤はフェノール樹脂木材接着剤（JIS K 6802）の規格によるものと同等以上の性能をもつものが望ましい。なお、フェノール樹脂木材接着剤と同等の接着剤としては、レゾシノール樹脂接着剤、エポキシ樹脂接着剤とし、水性高分子イソシアネート系木材接着剤、ポリウレタン樹脂接着剤、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤については、それらの耐久性が立証された場合に同等としてもちいることができる。

b) 使用上の注意

- i) 接着剤は品質保証期間を過ぎたものや、温湿度・紫外線・密封度などについての保管状態管理が十分でないものは使用してはならない。
- ii) 接着剤の使用にあたっては、接着剤製造業者の指示する配合仕様による調合条件、施工条件及び作業手順に従って施工する。特に温度管理に留意し低温または著しい高温にならないように注意する。また、あらかじめ接着力試験を行い接着力試験を行い接着力を確認するか、作業後抜取り試験を行い接着力を確認することが望ましい。

2) 接着される材料

a) 接着面

接着面は、反りを直し、むらとりを行い、機械かな仕上げまたはそれ以上の平滑な仕上げとし、表面に汚れなどのないものとするのが望ましい。なお、接着作業に先立つ前処理等について接着剤製造業者の指示がある場合には、それに従って施工することが望ましい。

b) 含水率

接着される木質系材料の含水率は、20%を超えない範囲で、それが構造部材として使われる場合の含水率に近いものとするのが望ましい。その場合、接着される2材の含水率の差は、5%以内であることが望ましい。

c) 異樹種間ならびに木材と木材以外の材料との接着

主要構造部における異樹種間ならびに木材と木材以外の材料との接着単独接合は、実験によって接合部の耐力と耐久性を立証された場合に限り行うことができる。

d) 特殊環境およびばく露部材

熱、温湿度の繰返し、紫外線等の環境が通常とは異なる特殊な環境で使用される部材、または接着部分が直接戸外にさらされるばく露部材は、その影響を勘案し必要に応じた耐久性上有効な措置を講じ、かつ、構造耐力上必要な接着性能を確保できる場合に限り用いることができる。

3) 接合部の設計

a) 応力負担

接着剤による接合は、接着面に沿う加力方向のせん断力だけを受けるように設計することが望ましい。

b) 2次応力

接合の状況により、2次応力によるせん断や、はく離による応力を考慮することが望ましい。

c) 変形能

変形能を要求される箇所には、接着単独接合を用いない。

d) 接合面

接合面は突付けまたは胴付き接合を避け、木材のまさ目面、板目面を標準とする。

4) 接着接合面の許容せん断応力度

接着材単独接合面の許容せん断応力度は、接着層や被着剤の許容せん断応力度のうちで最も低い値で決定され、一般には次の各項による。

- a) 木材相互の接着接合面の許容せん断応力度は、繊維に平行方向の荷重を受ける場合は木材の許容せん断応力度と同値、繊維に直角方向の荷重を受ける場合は平行方向の 1/3 とする。
- b) 被着材が木材と構造用合板の場合は、合板の許容層内せん断（ローリングシヤー）応力度とする。
- c) 木材と合板以外の材料との接着接合の場合は、作用する応力の方向に応じて接着層および被着材の許容せん断応力度の小さいほうの値をとる。

5) 接着作業

a) 接着操作

接着剤を用いて接合を行う操作は、接着剤製造業者の推奨する接着仕様に従うものとし、それ以外については、次の条件を標準とする。

- i) 塗布量は、接着層当り $200 \sim 300\text{g/m}^2$ とすることを標準とする。
 - ii) 接着に際しては、接着剤が凝固しないうちに圧縮を終わるのが良い。
 - iii) 圧縮力は、接着剤の種類、接着面の状態に応じ選択するが、通常、針葉樹では $0.5 \sim 1\text{N/mm}^2$ 、広葉樹では $1 \sim 1.5\text{N/mm}^2$ とし、接着剤が接着面からはみ出す程度を標準とする。
- ）圧縮時間は、接着剤の種類によって異なるが、通常、連続で 24 時間以上とすることが望ましい。また、圧縮の間、20 以上の温度を保つことが望ましい。

b) 使用開始時期

大きな荷重を受ける接着部は、原則として接着後 1 週間以上たってから使用する。

(3) 接着剤併用接合

接着剤併用接合とは、接着剤と釘・ボルトなどのメカニカルな接合具を併用する接合で、接合部に要求される剛度、強度、靱性に対し、メカニカルな接合と接着接合が補完しあって性能を確保する接合である。

1) 接着剤

a) 使用接着剤

使用できる接着剤は、(2)に示す接着剤およびそれら以外の接着剤で、接合部に要求される強度性能と耐久性が十分確かめられたものを用いることが望ましい。また、接着剤硬化に伴う伸縮により接合部に有害な欠陥を生じさせるものでないことが望ましい。

b) 使用上の注意

(2)1)b)に準じる。

2) 接着される材料

a) 接着面

(2)2)a)に準じる。

b) 含水率

(2)2)b)に準じる。

c) 異樹種間ならびに木材と木材以外の材料との接着

(2)2)c)に準じる。

d) ばく露部材

(2)2)d)に準じる。

3) 許容耐力

接着剤併用接合部の許容せん断耐力は、実験によって定める。

4) 接着作業

a) 接着操作

接着剤を用い接合を行う操作は、接着剤製造業者の推奨する接着仕様に従うことが望ましく、実験によって接合部に要求される耐力と耐久性が立証された場合は、その際の接着作業条件を標準とする。

b) 使用開始期間

接合部に要求される条件や接着剤製造業者の接着仕様によって適切に決めることが望ましい。

(1) 現場接着は耐久性について十分な確認がとられていないこともあり、原則として用いないこととし、工場接着を基本とする。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

参考実験 試験5 二次接着の性能確認試験

5.6.8 実験による接合具の許容耐力

接合具の許容耐力を実験によって決定する場合は以下の式による。

$$P_a = T_L / a \cdot b \text{ (N)}$$

ここで、

P_a : 接合具の長期許容耐力

a : 安全率 (1.5 ~ 2 の範囲)

b : 長期応力に対する係数 (2 ~ 3 の範囲)

T_L : 実験により得られた接合具の最大耐力 (P_{max}) の下限 5% 値で、順位法や各種の統計的手法により決定するのが望ましい。

木質構造計算規準では、この T_L は、最大耐力の母集団分布を対数正規分布と考えることにより次式から推定できるものとしている。

$$\log(T_L) = (\bar{x}) - K \cdot S$$

\bar{x} : 試験データ (最大耐力) の対数の平均値

S : 試験データ (最大耐力) の対数の標準偏差

K : 試験体数に依存する定数で表 - 解 5.6.3 による

表 - 解 5.6.3 K 値表

試験体数	6	7	8	9	10	11	12	15	20	25
K	2.336	2.250	2.190	2.141	2.103	2.073	2.048	1.991	1.933	1.895

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

5.7 床版

5.7.1 床版の支間

主桁または床桁が木製で、床版も集成材パネル床版の場合の床版の支間は以下のよう定めることが望ましい。ただし、床版は連続桁または片持桁と見なして設計することができる。

(1) 連続桁の死荷重に対する支間は、「純支間 + 桁幅/2」と「純支間 + 床版厚」のうち小さい方の値とするのが望ましい。ただし、純支間は床版の繊維方向に測った値とするのが良い。

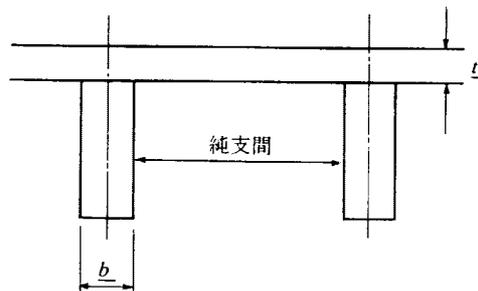


図 - 5.7.1

(2) 片持桁の死荷重に対する支間は、支点となる桁の桁幅の 1/4 の点から床版の繊維方向にそれぞれ図 - 5.7.2 に示すように測った値とすることができる。

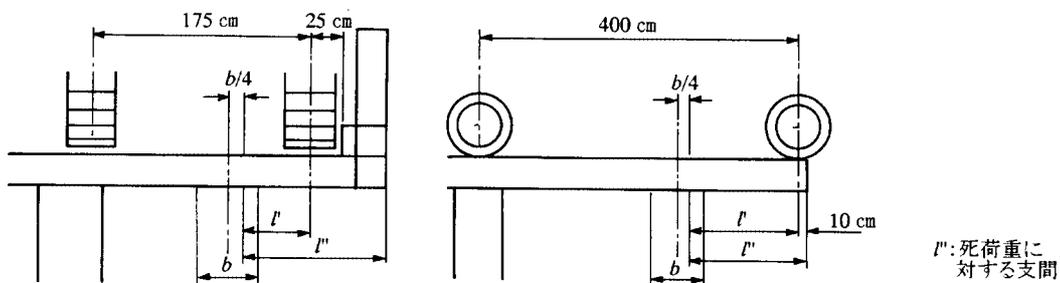


図 - 5.7.2

床版が集成材パネルの場合でも、隣接する集成材パネル床版を、木製雇実(やといざね)や鋼製ほぞを用いても互いに剛結することは困難であり、床版を直交異方性連続版と見なすことは危険側の評価となる。それゆえ床版の繊維方向への連続桁と見なすことが妥当と思われる。

(1)は「Standard Specifications for Highway Bridges」American Association of State Highway and Transportation Officials (1983)(以下「AASHTO 規準」という)の 3.25.1.2 に準じている。「木道路橋設計示方書昭和 15 年 11 月内務省」(以下「木示」とよぶ)第 42 条は「鋪板は単純桁と仮定し支間はその純径間に 10cm を加算せるものとする。」となっている。すなわち桁幅を 20cm の場合は、(純支間 + 桁幅/2)となる。

(2)は「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」8.2.3 の(2)を木桁の場合に準用した。床版が鉄筋コンクリート床版の場合は、(1)(2)共に「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」8.2.3 によるものとする。

参考規準類 道路橋示方書・同解説、AITC

5.7.2 床版の設計曲げモーメントとせん断力

- (1) 単純桁として求められた、死荷重と活荷重による曲げモーメントの合計の 80% を連続桁の設計曲げモーメントとすることができる。
- (2) せん断力による応力照査位置は桁の設計に準じ、支点から床版厚だけ離れた断面において行うことが望ましい。

(1) は AASHTO 規準 3.25.4 による。2 スパン以上にわたって連続している集大成パネル床版を対象としている。(2) では桁の場合と同様に支点から床版厚だけ離れた断面位置でせん断力を求める。曲げおよびせん断いずれにしても、5.7.1 の(2)で定める片持桁の断面力が床版厚を決定することのないようにすること。すなわち床版の過度の張出しは、構造安全上好ましくない。

鉄筋コンクリート床版の場合は、「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」8.2.4 によるものとする。

参考規準類 道路橋示方書・同解説、AASHTO

5.7.3 許容応力度増減

リフレクションクラック防止シート等で床版表面が防水処理されている場合は、許容曲げ応力度および許容せん断応力度は低減しなくともよい。

防水処理がされていない場合は、許容曲げ応力度には湿潤係数 0.7 を乗じる。

5.7.4 桁端部の床版

桁端部の床版については、目地間の土砂詰まり等による腐食劣化を防ぐよう、構造面で留意することが望ましい。

桁端部に目地材を用いた例を図 - 解 5.7.2 に示す。

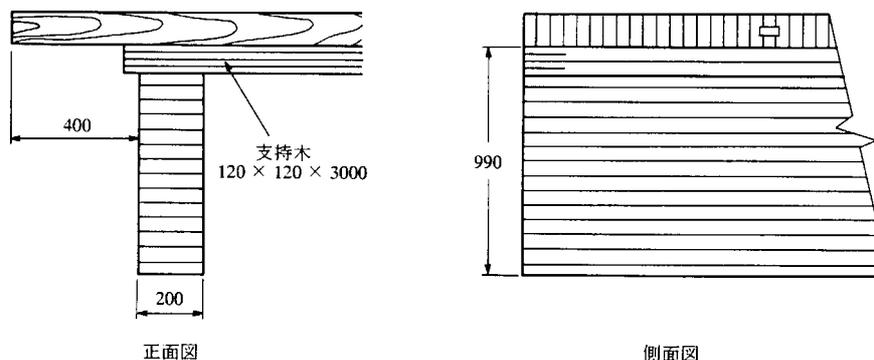


図 - 解 5.7.2

5.7.5 プレストレス木床版

(1) ラミナの種類および配置

- 1) プレストレス木床版は、ラミナ製材、LVL、集成材等で構成することができる。
- 2) ラミナにバットジョイントを設ける場合、木材の繊維方向に測った 1.2m のスパン内の互いに隣接する 4 本のラミナにおいて、1 箇所までとしてよい。

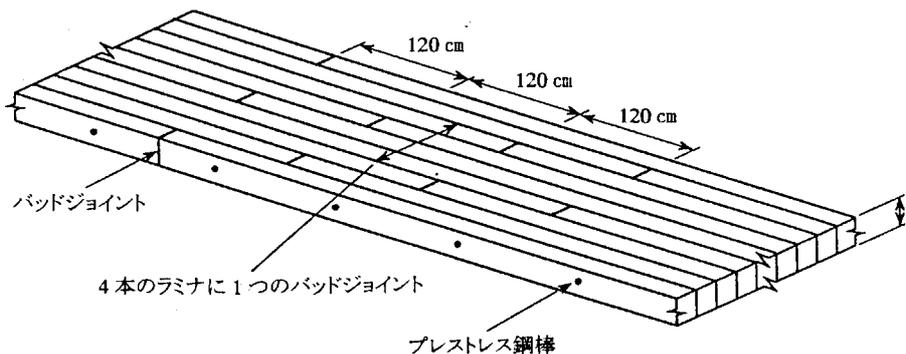


図 - 5.7.3

(2) プレストレス鋼棒および締着部

- 1) プレストレス鋼棒はプレストレスコンクリート用と同等の鋼棒を用いることができる。
- 2) プレストレス鋼棒の断面積は次の条件を満たすことが望ましい。

$$\frac{A_s}{S_p \cdot t} \quad 0.0016$$

ここに、

- A_s : 鋼棒の断面積 (mm²)
 S_p : 隣接する鋼棒の間隔 (mm)
 t : 床版厚 (mm)

- 3) プレストレスによる木材の繊維直交方向に作用する反力を受ける床版端は、めりこみに対して安全な締着構造とすることが望ましい。

(3) 再プレストレス

- 1) プレストレス力の導入は次の手順で行うことが望ましい。

床版架設時に、必要な設計軸力に達する初期プレストレス力を導入する。
初期プレストレス実行後、約 1 週間後に再プレストレス力を導入する。

再プレストレス実行後、4～6週間後に最終プレストレス力を導入する。
各プレストレス時においては、必要な設計軸力とプレストレス直前での鋼棒の軸力との差を2～3回に分けてプレストレスを行い、必要な設計軸力に到達することが望ましい。

2) 定期点検時等にプレストレス力のチェックを行うのが望ましい。

(4) 防錆および防腐処理

1) プレストレス鋼棒は防錆処理することが望ましい。

2) 床版ラミナは油性の防腐剤を加圧注入することが望ましい。

(1) ラミナとは元来集成材を構成する厚さ2～3.5cm程度の挽き板のことを意味するが、ここでは、プレストレス木床版を構成する最小単位の材料を意味する。

2)は1970年代の半ばに始まったカナダのオンタリオ州道路局の成果によっている。特に製材ラミナの場合は、原木の長さがラミナの最大長さとなるので、たとえ1スパンのプレストレス木床版であってもバットジョイント(縦継ぎ)は避けられない。しかも図-5.7.3に示すバットジョイントは木口面が単に向き合っているに過ぎず、製作上の制約から5～10cmの隙間が開いている。このような事情と多数の実験および実橋の経験から2)項の制約を設けた。

プレストレス木床版は単なる木床版橋として利用されるばかりではなく、アーチやトラス橋の床版、T桁橋、平行弦ラーメン橋およびラーメン橋とその応用範囲は広い。

(2) 現在までに使用実績があるのは鋼棒のみであるので1)を設けた。総ネジの鋼棒を含むものとする。将来的には平行線ストランドや炭素繊維から成る緊張材の使用も予想されるが、1)はこれらの使用を否定するものではない。ただし平行線ストランドは締着部の構造上再プレストレスは困難である。2)は鋼棒の断面積が大きいほどプレストレス力による木材の繊維直交方向のクリープの影響が大きくなる、とするカナダのオンタリオ州道路局の成果によっている。

(3) カナダのオンタリオ州道路局の研究結果による。

(4) 防錆処理は鋼棒の強度を低下させない方法によることが望ましい。電気メッキが最も普通に行われる。エポキシによるコーティングもしばしば行われる。オンタリオ州ではプラスチック管に鋼棒を通し、内部をグリース(grease)で満たすことが試みられている。

隣接する床版ラミナ相互は、プレストレス力によって密着している密着面を再塗装

したりすることはできない。それゆえメンテナンスフリーとなるように油性の防腐剤を加圧注入することが望ましい。

5.8 桁構造

5.8.1 一般

(1) 主構造の配置構成

主桁、床組、床版等の主構造の配置構成は、構造性の他に雨水等からの耐腐性を考慮して決定することが望ましい。

(2) 部材の設計

部材の設計は、5.4 の規定により曲げモーメントおよびせん断力を受ける部材とすることが望ましい。

(3) 接合部の設計

接合構造形式は、設計断面力、施工性及び景観などを考慮し選定することが望ましい。

(3) 接合部の設計

主構造部材の接合構造は一般には以下に示す形式があげられる。

(a) 鋼板インサートタイプ

(b) 鋼板添板タイプ

(c) 鋼板添板とシャーププレートの複合タイプ

モデル木橋において採用した主桁の接合構造の例を図 - 5.8.1 に示す。

本構造は、(a) タイプに対し、施工性に配慮し接合面に高力ボルトを使用したものである。

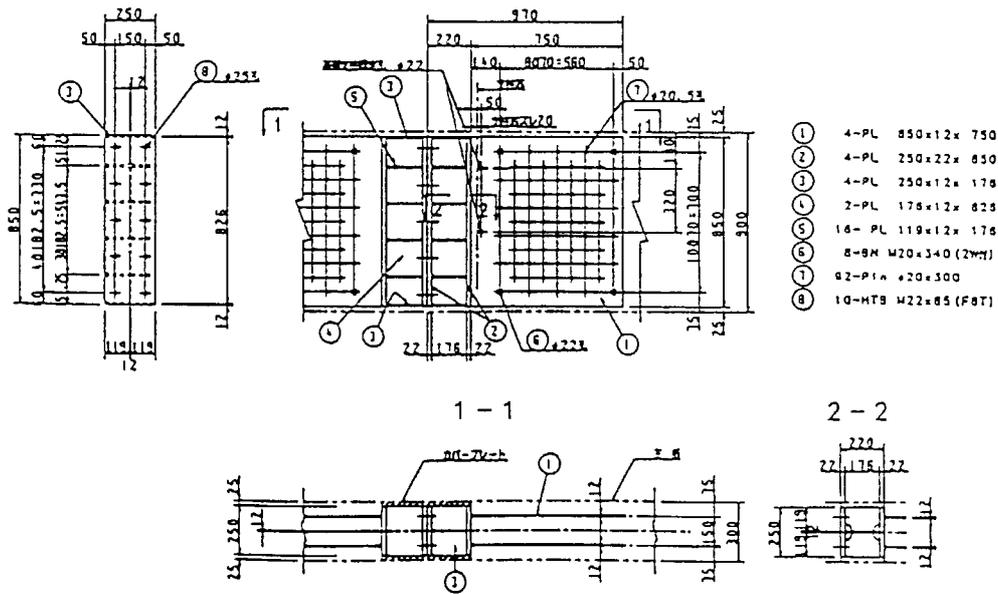


図 - 5.8.1 鋼板インサート・高力ボルト併用タイプ

- 参考実験
- 試験 1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験
 - 試験 2 アーチリブ接合部の構造確認試験
 - 試験 3 接合部の構造確認試験
 - 試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験
 - 試験 7 トラスの接合試験

5.8.2 対傾構

- (1) 道路橋示方書に準ずる。
- (2) 集成材桁橋の支点では、原則として各主桁間に対傾構を設ける。
- (3) スパンが 6m を越える場合には中間対傾構も設けるのがよい。対傾構の間隔は 7.5m を越えないようにすることが望ましい。
- (4) 中間対傾構は主要部材として設計するものとするのがよい。中間対傾構に荷重分配作用を持たせる場合は格子桁理論によって荷重分配係数を算定してよい。
- (5) 対傾構は、鋼もしくは集成材を用いることが望ましい。

(2) は AASHTO 規準 13.3.8.2.3 に準じた。(3) は米国の各種設計例を参考としたものである。(4) については我が国での研究成果によるもので、荷重分配係数を T または L 荷重載荷に対して適用し、内桁、外桁それぞれ異なった荷重分配を考慮してよい、という研究結果もあるが、継手の剛性、効率を確認の上採用する必要がある。床版が油性防腐剤で加圧処理されており、かつ床版と桁の接合が十分剛と見なされる場合は床版の剛性も荷重

分配に寄与するとしてよい。鋼および集成材からなる対傾構の概念図を図 - 解 5.8.2 に示す。

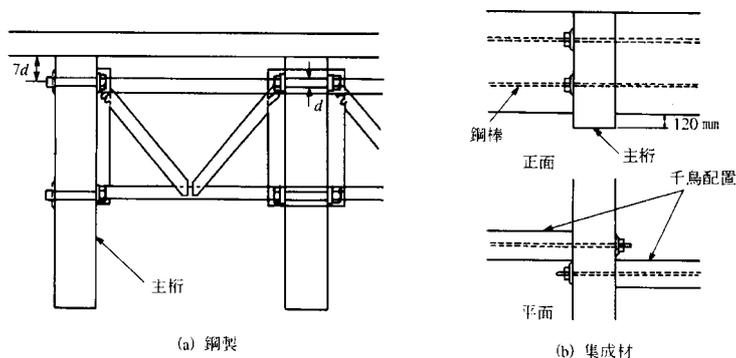


図 - 解 5.8.2

参考基準類 道路橋示方書・同解説、AASHTO

5.9 トラス構造

(1) 断面の構成

断面の構成は、断面の図心が、なるべく断面の中心と一致し、かつ骨組線と一致するように配慮するなど、二次応力をできるだけ小さくするようにしなければならない。

(2) 圧縮部材の有効座屈長

圧縮部材の有効座屈長は、材長および材端の状況に応じて定め、5.3.1 項に準じて設定しなければならない。

(3) 格点構造

格点の設計にあたっては、なるべく単純な構造とし、各部材の連結が容易であり、かつ検査、排水、清掃等の維持作業が支障なく行えるように配慮しなければならない。

(4) 横構、対傾構および橋門構

横構、対傾構および橋門構は、橋全体の立体的な機能を確保するのに十分な剛性を有するように配置しなければならない。

この章はトラスを主構造とする上部構造に関する一般的な注意事項を「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」に準じて示した。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

参考実験 試験 7 トラスの接合試験

5.10 アーチ構造

(1) 主構造の配置および断面の構成

アーチ主構造の配置、形状および部材断面の選定にあたっては、アーチ面内外への全体座屈が生じないようにすることが望ましい。また、アーチの部材軸線は骨組線と一致させることを原則とする。

(2) 部材の設計

アーチ部材は 5.5 の規定により、軸方向力と曲げモーメントを受ける部材として設計する。

(3) 吊材または支柱

吊材または支柱の部材力は、それらの両端はピンと仮定して算出して良い。

(4) 横構、対傾構および橋門構

アーチの横構、対傾構および橋門構は 5.9 トラス構造に準じて設計するのが良い。

本項は主構造がアーチまたは補剛アーチから成り立つ構造に関する一般的注意事項を「道路橋示方書・同解説（鋼橋編）」に準じて示した。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

5.11 ラーメン構造

道路橋示方書 鋼橋編、コンクリート橋編を準用する。

5.11.1 一般

(1) 主構造の配置および断面の構成

ラーメン主構造の配置、形状および部材断面の選定にあたってはラーメン面内・外への全体座屈が生じないようにするのが望ましい。

(2) 部材の設計

ラーメン部材は 5.5 の規定により軸方向と曲げモーメントを受ける部材として設計するのが望ましい。

(3) 横構

ラーメンの横構は 5.9 トラス構造に準じて設計するのが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

5.11.2 構造解析

- (1) 断面力を算出する場合のラーメン軸線は、原則として部材の図心に一致させる。
- (2) 断面力の算出にあたっては、原則として部材断面の曲げ剛性の変化を考慮して解析する。

5.11.3 基礎構造の影響

ラーメン構造部の設計の際、基礎構造の回転、相対的移動が予想される場合は、その影響に留意するのがよい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

5.11.4 ラーメンの全体座屈

ラーメン構造の有効座屈長は、「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」15.5によるものとする。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

5.11.5 ラーメン橋のたわみ

ラーメン橋の活荷重による最大たわみは、「道路橋示方書・同解説(鋼橋編)」15.7、15.8によるものとする。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

5.11.6 隅角部

部材の隅角部は、応力の流れが複雑となるため、部材の構成や接合構造の選択は、隅角部の特徴に留意して設計するのがよい。

隅角部はその構造によって各部材を接合構造により構成する場合や、方杖ラーメン橋などのように部材が斜に交差する場合は湾曲集成材を用いることが考えられる。モデル橋は隅角部に曲線半径の比較的小さな湾曲集成材を採用しており、実構造に近い試験体で変形の挙動や耐力など安全性の確認試験を行った。その試験結果では試験による許容値レベルと設計計算の対応がよくとれていることが確認された。

各部材を接合構造により構成する複雑な構造形式を採用する場合においては実験等による安全性の検証をすることが望ましい。

参考規準類 道路橋示方書・同解説

参考実験 試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験

5.12 木造下部工

(1) 杭橋脚

杭橋脚は、通常高さが 12m までとするのがよい。高さが 3m を超える杭橋脚は、橋脚の各側面に水平方向に筋交いを渡す対傾構とし、縦方向には十分に筋交いにより支持するものが望ましい。

(2) 枠組橋脚

枠組橋脚は、杭、コンクリート受台で支持するのがよい。水平方向には対傾構で固定するものとし、縦方向には十分筋交いを入れるのが望ましい。

(3) 部材の設計

部材の設計は 5.3 圧縮材の規定に準じるのが望ましい。

本項は、木造下部工での一般的注意事項を AASHTO (1992) の規定に準じて示した。

参考基準類 AASHTO

5.13 屋根付き構造

(1) 屋根構造

屋根構造は、死荷重、積載荷重、風圧等による鉛直荷重と風圧力、地震荷重等の水平荷重を主桁に安全に伝達しうる強度と剛性をもつ構造とするのがよい。

(2) 屋根構造部材の設計

部材の設計は、鉛直荷重および水平荷重に対してトラス部材として設計することが望ましい。

木橋の耐久性確保のためには、主構造に屋根を付け直接水や日光をあてないことが最も効果的な方法である。

屋根構造の具体的な設計法は、木質構造設計規準を参照すればよい。

参考規準類 木質構造設計規準・同解説

第6章 支承部・橋梁用防護柵等

6.1 支承部

6.1.1 一般

- (1) 支承は、上部構造から伝達される荷重を確実に下部構造に伝達し、風、地震などに対して安全となるように設計しなければならない。
- (2) 支承の設計は「道路橋支承設計便覧」の規定によって行うのがよい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

6.1.2 支承の形式

通常の桁橋、もしくは床版橋の支承は、ゴム支承を用い、鋼板およびボルト等金具類は溶融亜鉛メッキ等防錆処理することが望ましい。

反力による木桁の繊維直交方向の支圧応力を緩和し、同時に支承周りの水はけをよくするためにゴム支障を用いることが望ましい。

また、支承部は雨水等が滞留しやすい場所であるので、金具類については防錆処理を行うことが望ましい。(図 - 解 6.1.1 参照)。

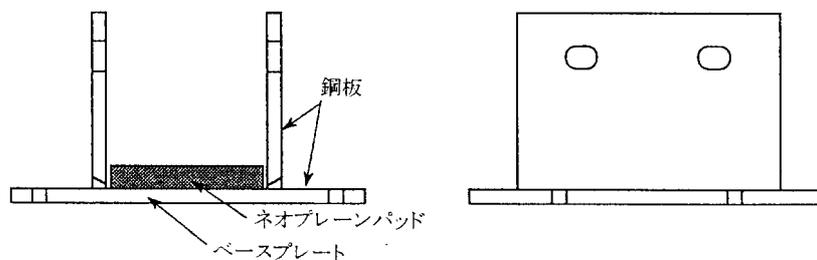


図 - 解 6.1.1

6.1.3 固定支承

特に長スパンの橋を除くと可動支承は不要であり、固定支承とすることができる。

特に長スパンの橋を除くと温度差による部材の伸縮は無視できること、およびクレオソート加圧注入等油性の防腐剤で処理された部材も部材中の含水率の変化はほとんど無視できることから支承は固定として差し支えない。また、支点上の回転角による移動も図 - 解 6.1.1 のように長孔のボルト孔とすることにより吸収される。

6.1.4 構造細目

- (1) アンカーボルトは、最小径を 25 mm とし、直径の 10 倍以上の長さを下部構造中に固定するものとするのが望ましい。
- (2) 下部構造と支承との固定およびアンカーボルトの埋め込みは無収縮モルタルを用いることが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

6.2 地覆および橋梁用防護柵

- (1) 地覆および橋梁用防護柵の構造は、橋梁用防護柵のみとするか、地覆・橋梁用防護柵を兼ねたものとする。

橋梁用防護柵は歩道等の路面から 1.10m の高さとするのがよく、その側面に直角に 2.5kN/m の推力が頂部に働くものとして設計するものとする。この場合、床版に与える影響について、その推力、歩道等の等分布荷重の組合せに対して安全性を照査しなければならない。この場合、許容応力度について割増しを行わないものとする。

- (2) 地覆および橋梁用防護柵は、主桁側面または床版にボルト等で固定するのを標準とする。

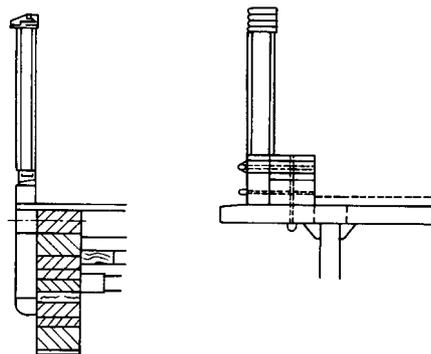


図 - 6.3.1 高欄・地覆の構造および固定方法の例

橋梁用防護柵・地覆の構造および固定方法には、図 - 6.3.1 に示すように主桁側面にボルト等により直接固定する方法と、地覆を設け地覆と橋梁用防護柵を結合した上で地覆と一体として床版に固定する方法がある。前者は構造が簡素になる反面、橋梁用防護柵、床版からの水垂れ等による主桁の劣化の可能性がある。一方後者は主桁の劣化に対しては有利

であるが地覆部に土、ゴミ等がたまりやすく、床版の劣化が早まる可能性がある。構造および固定方法の選定にあたっては以上の点に留意し、排水に配慮した細部構造をあわせて検討する必要がある。高欄への群衆荷重およびその作用位置については「道示」4.2.1 に準ずるものとする。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

6.3 排水等

橋面には排水をすみやかに行うため、2%程度の横断勾配を設けるのがよい。

「林道必携」2.1.4 に準ずる。集水ますや排水管の規定は設けず、自然流下方式を採用することができる。

6.4 橋面舗装

アスファルト舗装を行う場合、床版が集成材パネル床版、もしくはプレストレス木床版等の上に、防水層を兼ねたリフレクションクラック防止シートを敷くのが望ましい。

特に床版が集成材パネル床版の場合は隣接するパネル接合線上のアスファルト舗装面に接合線に沿って亀裂の発生が多く見られた。これを防止するためには現段階ではリフレクションクラック防止シートを敷くのが有効と思われる。

6.5 点検施設等

橋には将来の維持点検のために、必要に応じ点検施設等を設置することが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

6.6 付属施設

照明、標識、遮音壁などの付属施設を設置する場合には、これらが橋に及ぼす影響を考慮し、必要な措置を講じることが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

6.7 添架物

水道管などを添架する場合には、これらが橋に及ぼす影響を考慮し、必要な措置を講じることが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

第 7 章 防 腐 耐 久 設 計

7.1 木材の防腐・防虫

7.1.1 防腐・防虫の原則

橋梁に用いる木材は、原則として防腐処理をしなければならない。

野外で風雨に曝される状態で用いられる木材の耐久性（耐朽性という）は樹種によって異なる。耐朽性が高い樹種であっても一般に辺材（樹木の外側の白太と呼ばれる白い部分）は耐朽性が低く、防腐処理を行わなければ比較的短期間に腐る。橋梁に用いられる木材の場合、表 - 解 7.1.1 の耐朽性極大に区分される樹種では、従来は防腐処理を必要としないとされていたが、近年の報告によると、日本国内で腐朽菌により腐朽することが報告されている。わが国は、高温・多湿な気候であり、木材の耐久性にとっては過酷な条件下にあり、原則として防腐処理等の検討が必要である。

表 - 解 7.1.1 各樹種の心材の耐朽性

耐朽性の区分	日 本 材	北米材、ソ連材	南 洋 材
極 大			ボンゴシ（アゾベ、エッキ）、ドゥーシエ
大	ヒノキ、ヒバ、クリ、ケヤキ	ベイヒ、レッドウッド、ベイスギ、ベイヒバ	チーク、マホガニー
中	カラマツ、スギ、ナラ、カシ類	シベリヤカラマツ、ベイマツ	クルイン、ケンパス
小	アカマツ、クロマツ、モミ、ツガ	ベイツガ、ベニマツ、サザンパイン（SPF）ヨーロッパアカマツ	アピトン、ユーカリ、ナトー、レッドラワン、ジョンコン、タウン
極 小	エゾマツ、トドマツ	ベイモミ、スプルース、ラジアタマツ	アガチス、ジェルトン、アルストニア

注) ボンゴシは耐久性極大に区分されているが、特定の条件においては腐朽菌が発生することもあるので、防腐・防虫処理等の検討が必要である。

なお、地域別の耐用性の参考として、図 - 解 7.1.1 に（財）日本住宅・木材技術センターが調査した木材危険度腐朽マップを示す。大まかに見て、北海道などの寒冷地域では、東京の 5 割程度耐用性が増加し、奄美群島、沖縄、南西諸島、小笠原諸島などでは、反対に 5 割程度耐用性が短縮すると考えられる。

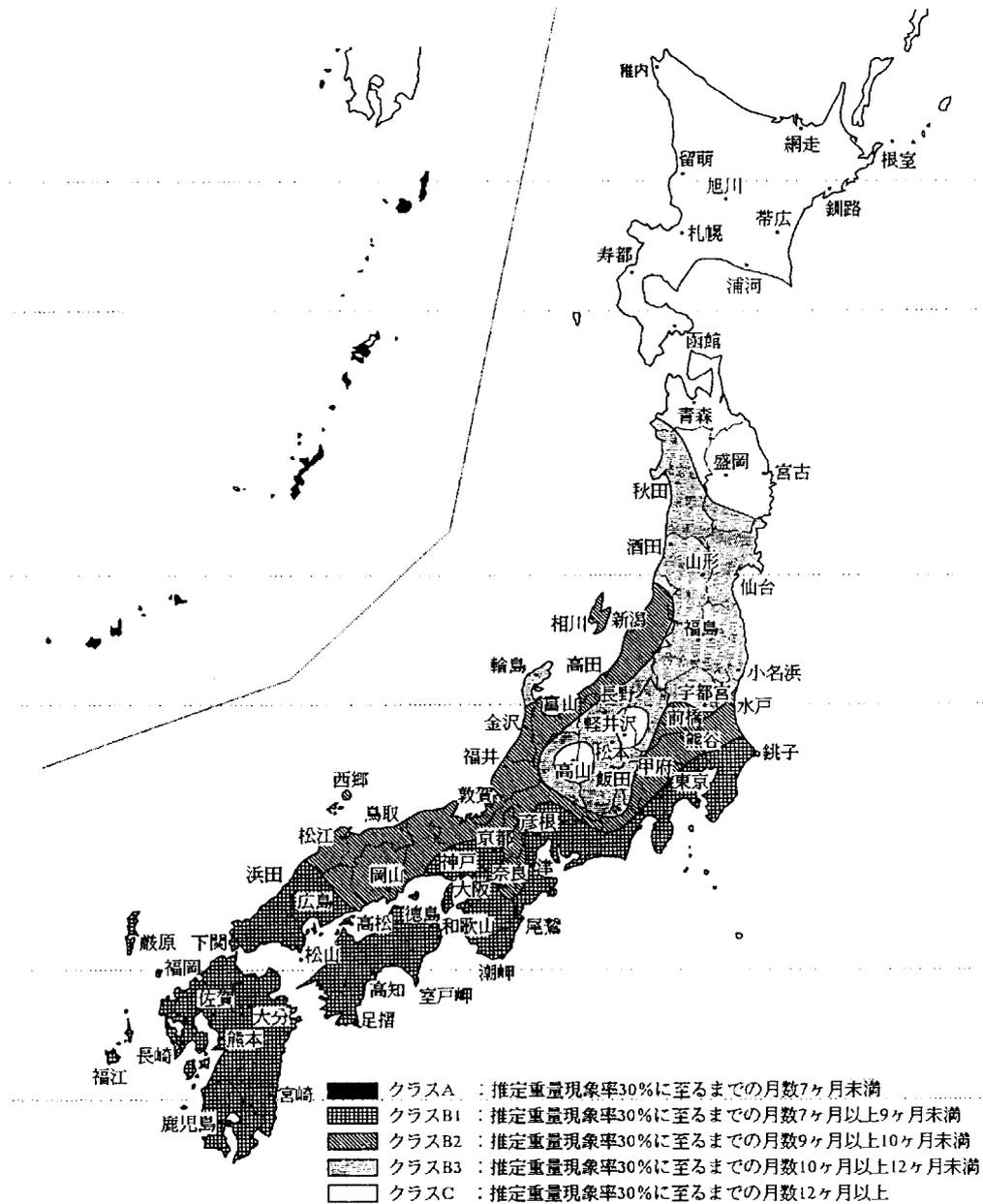


図 - 解 7.1.1 日本全土における木材腐朽危険度マップ

木材の防腐、保存に関する基礎的事項については下記の文献に詳しい。

「木材保存学入門」(社)日本木材保存協会、平成13年3月

「しるあり及び腐朽防除施工の基礎知識」(社)日本しるあり対策協会、平成8年

7.1.2 防腐・防虫の処理と耐用年数

(1) 防蟻

イエシロアリの被害が高い地区においては、耐蟻性の高い樹種を除いて、防蟻処置を行わなければならない。

(2) 海中使用の部材

海中に設置する場合は、耐海虫性の高い樹種でなければ、海中使用に適する防腐・防蟻処理を行わなければならない。

(3) 加圧注入による防腐・防蟻処理

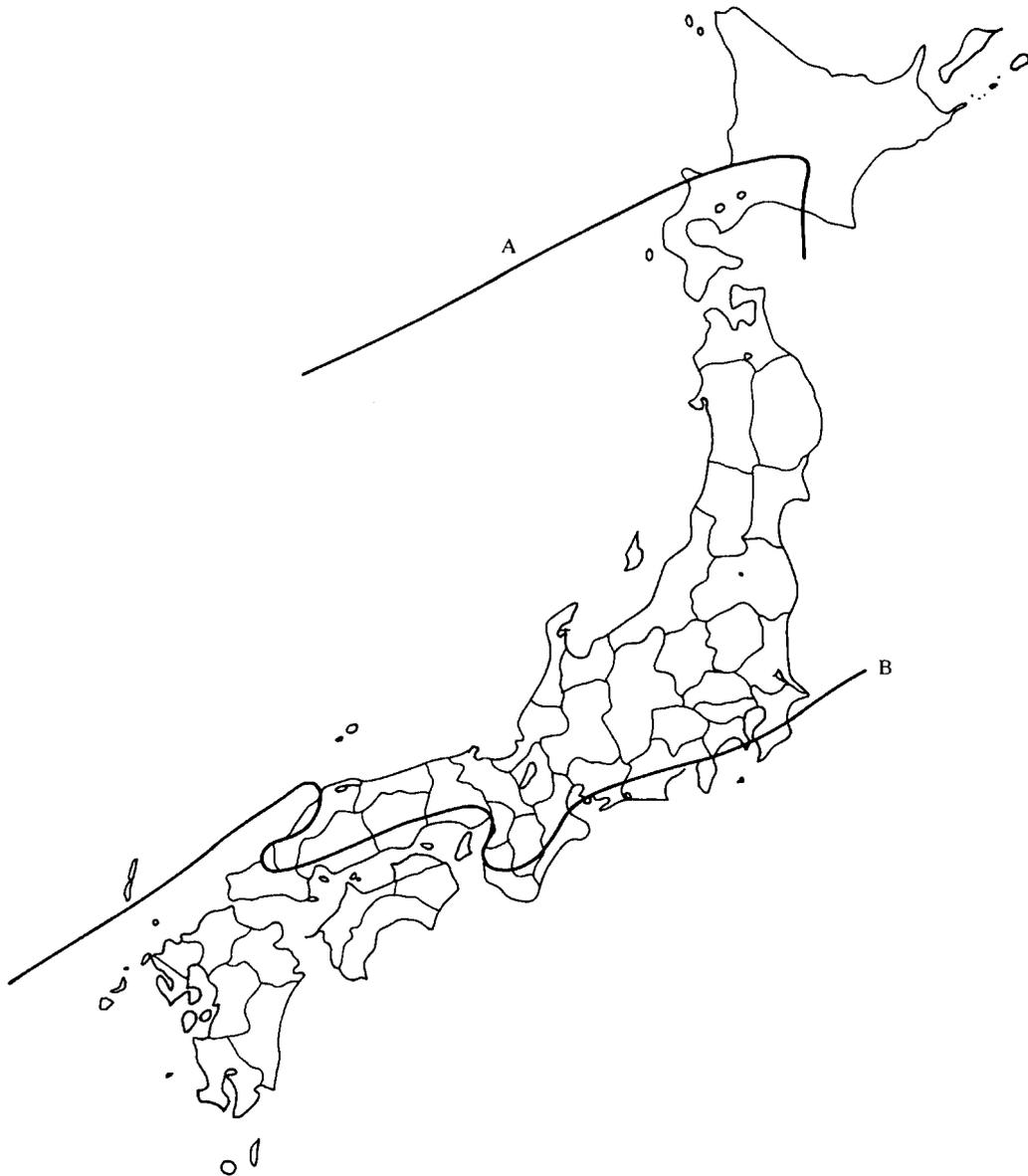
橋梁に使用する木材は、木材保存剤の注入可能な樹種を用い、原則として加圧注入でなければならない。

(4) 定期的な塗り直しを前提とした木材表面の防腐処理

木材表面を防腐・防蟻処理するために用いる薬剤は、日本工業規格（JIS）に適合するものか、（社）日本木材保存協会、（社）日本しろあり対策協会のいずれかが認定しているものを標準とする。

薬剤処理は、施工時、施工 1 年後に実施した後、薬剤の効力に応じて最大 5 年最小 1 年の間隔で定期的に塗りなおすことが望ましい。

- (1) 九州、沖縄、南西諸島、小笠原など、図 - 解 7.1.2 の B の線以南がイエシロアリの分布地域を示すが、このようなイエシロアリの被害が高い地区においては、表 - 解 7.1.2 の耐蟻性の高い樹種でなければ、防蟻処置を行うこととする。



A : ヤマトシロアリの分布の北限

B : イエシロアリの分布の北限 (1月の平均気温が4 の等温線とほぼ一致)

図 - 解 7.1.2 日本産主要シロアリ種の分布

表 - 解 7.1.2 耐蟻性の分類

耐蟻性	樹種 (心材のみ、辺材は耐蟻性がない)
大	ヒバ、コウヤマキ、チーク、ボンゴシ (アソベ、エッキ)
中	ヒノキ、スギ、カラマツ、ベイヒ

(2) 海中に設置する場合は、表 - 解 7.1.3 の耐海虫性の高い樹種でなければ、海中使用に適する防腐・防蟻処理を行うことが望ましい。

表 - 解 7.1.3 フナクイムシ抵抗性のある樹種(心材のみ)

国産材	コウヤマキ、クリ、イチイガシ
南洋材	アフリカンパドーク、マコレ、ドゥーシエ、ボンゴシ

(3) 加圧注入方法は、JIS A 9002 に規定する方法で行う。加圧注入用薬剤は JIS K 1570 より表 - 解 7.1.4 に示す薬剤が使われている。

表 - 解 7.1.4 日本工業規格で規定される木材保存剤

区 分	種 類	記 号	
油性木材防腐剤	クレオソート油木材防腐剤	1号	A - 1
		2号	A - 2
水溶性木材防腐剤	クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤	1号	CCA - 1
		2号	CCA - 2
		3号	CCA - 3
	フェノール類・無機ふっ化物系木材防腐剤	1号	FCAP
		2号	FSP
	アルキルアンモニウム化合物系木材防腐剤	1号	AAC
	クロム・銅・亜鉛化合物系木材防腐剤	2号	CFKZ
	銅・アルキルアンモニウム化合物系木材防腐剤	1号	ACQ - 1
2号		ACQ - 2	
乳化系木材防腐剤	脂肪酸金属塩系木材防腐剤	1号	NCU
		2号	NZN
		3号	VZN

長期の耐用性を保証し得る程度に注入可能な樹種は、全ての樹種の辺材または表 - 解 7.1.5 に示す樹種の良好、やや良好、困難に区分される心材である。

表 - 解 7.1.5 主な樹種の心材の浸透性による分類

産地	良好	やや良好	困難	きわめて困難
日本材	ヒバ カエデ類、シデ類 ツバキ、トネリコ ハンノキ	マツ類、スギ ツガ、モミ ヒメコマツ マカンバ	ヒノキ、エゾマツ トドマツ、トウヒ ケヤキ、ブナ	カラマツ クリ、クヌギ クスノキ ナラ類、セン
北米材	ポンデローサマツ レッドウッド レッドオーク	ジャックパイン ベイツガ イエローバーチ サトウカエデ	ロジリアポールマツ カナダツガ バイトウヒ シトカスプルス	ベイマツ ベイスギ シベリアカラマツ ホワイトオーク
南洋材	アピトン バクチカン ゲロンガン ジェルトン ケンパス クルイン	マヤピス メラワン テレンタン エリマ カナリウム	バラウ チェンガル カプール チーク マラス	バンキライ ダークレッドメラ ンチイピール マホガニーメリサ ワジェラ レッドラワン カメレレ、タウン

(出典) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック改訂3版(丸善、1982)より樹種名を一般名に直し抜粋

注入良好な樹種を用いて製造された加圧注入木材の野外耐用年数を表 - 解 7.1.6、表 - 解 7.1.7 に示す。これらの杭は、野外で風雨に直接曝され、木材を分解する微生物が豊富で常時一定以上の水分が保たれている土に埋め込まれている状態にある。このため、ここでの耐用年数は、下限値と考えられる。土と接しない状態では、ここに記された耐用年数の2倍程度、直接風雨に曝されなければ、4倍程度の耐用年数があると考えられる。

表 - 解 7.1.6 加圧注入用防腐剤によって処理されたスギ辺材杭 (3×3×60cm)
の野外における耐用年数 (東京都八王子市における試験結果)

薬 剤	平均吸収量 単位: kg/m ³ 、()kN/m ³	耐用年数
クレオソート油	503 (4.93) 52 (0.51) 27 (0.26)	37年以上 19年 17年
クレオソート油 75 : 重油 25	564 (5.53)	37年以上
クレオソート油 50 : 重油 50	517 (5.07)	37年以上
クレオソート油 75 : コールタール 25	271 (2.66)	37年以上
クレオソート油 50 : コールタール 50	389 (3.81)	37年以上
CCA (JIS K 1554 Type 1)	12.0 (0.12) 2.2 (0.02)	32年以上 18年
CCA (JIS K 1554 Type 2)	10.9 (0.11) 1.8 (0.02)	32年以上 13年
硫酸銅	18.7 (0.18)	17年
蟻酸銅	6.8 (0.07)	20年
ハウフッ素	13.0 (0.12)	18年
ケイフッ素	14.0 (0.14)	15年
ZMA	7.2 (0.07)	15年
CZC	7.7 (0.07)	10年
CFK	14.4 (0.14)	18年以上
ナフテン酸銅	4.5 (0.04) (銅として)	18年以上
ナフテン酸亜鉛	5.6 (0.05) (亜鉛として)	18年以上
8 - オキシキノリン銅	3.6 (0.03)	18年以上
DDAC	9.4 (0.09)	9年 (地上部は14年以上)
ACQ*	6.1 (0.06)	8年以上
フェノール樹脂	114 (1.12) 77 (0.76) 49 (0.48)	20年 17年 15年
無処理		3年

* ラジアタパイン辺材杭 (2×2×50cm) に対するもの

(出典) 林業試験場監修: 木材工業ハンドブック改訂3版 (丸善、1982)

鈴木、山本、桃原、西村: つくば市における18年間の木材防腐剤野外杭試験結果、第46回日本木材学会大会研究発表要旨集、1996年に林野庁森林総合研究所でのその後のデータ(未発表)を追加して整理

表 - 解 7.1.7 AAC系薬剤によって処理されたラジアタパイン辺材杭
(2×2×50cm)の野外における耐用年数
(茨城県つくば市における試験結果)

薬 剤	吸 収 量 単位：kg/m ³ 、() kN/m ³	耐用年数
BKC	9.5 (0.09)	9 年
DDAC + BKC	9.5 (0.09)	9 年
CCA (Type 2)	9.5 (0.09)	12 年以上
無処理		3 年

(4) 耐朽性の比較的高い樹種で、加圧注入が困難なものや、加圧注入であっても防腐剤自体の性能が長期間望めない場合などにあつては、JIS K2439 - 1983 のクレオソート油 1号、(社)日本木材保存協会または(社)日本しろあり対策協会が認定している表面処理用の防腐・防蟻剤のいずれかを塗布する必要がある。2つの協会が認定している薬剤は同一の試験法に基づいている。

薬剤処理は、施工時と施工 1 年後に処理した後、表 - 解 7.1.8 に示すように、薬剤の効力に応じて最大 5 年最小 1 年の間隔で定期的に塗り直すことが必要である。

表 - 解 7.1.8 塗布系薬剤の再処理サイクルの例
(森林総合研究所の野外実験データによる)

薬 剤 名	色 及 び 性 状	再 処 理 サイクル
クレオソート油	暗褐色、乾きにくい そのまま使用	5 年
ナフテン酸銅	緑色、 通常灯油で 5 倍希釈して使用	5 年
ナフテン酸銅	無着色、 通常灯油で 2.5 倍希釈して使用	5 年
表面処理防腐剤 (キシラザン系)	褐色あり、 そのまま使用	2 年

7.2 接合部の防腐、防錆

- (1) 接合部は、できるだけ雨水の溜まらない構造とすることが望ましい。
- (2) 構造上重要な接合部は、防腐・防蟻処理した木材を使用すること。
- (3) 表面処理用防腐・防蟻剤で処理した場合は、施工 1 年後に再処理した後、薬剤の

効力に応じて最大 5 年最小 1 年の間隔で定期的に塗り直すことが望ましい。

(4) 接合に用いる金物は、有効な防錆措置をすることが望ましい。

木材が金物等で接合された部分は、雨水が溜まりやすく、また結露が生じ易いので、非常に腐りやすい箇所となる。雨水については、雨天の時にその部分が水たまりとならないよう構造的な工夫をする。

木材の防腐・防蟻処理については、JIS または AQ 認証されている防腐・防蟻剤をプレカット後に加圧注入するか、(社)日本木材保存協会または(社)日本しろあり対策協会が認定している表面処理用防腐・防蟻剤を塗布することが望ましい。

表面処理用防腐・防蟻材を塗布する場合は、施工 1 年後に再処理した後、薬剤の効力に応じて、表 - 解 7.1.8 に示す再処理サイクルで、最大 5 年最小 1 年の間隔で定期的に塗り直すことが望ましい。このために例えば橋梁の入り口にコンプレッサーを設置し、各接合部に木製のためを作り、防腐・防蟻剤再処理用のパイピングをしておくことなどが考えられる。

なお、防腐・防蟻剤の中には、金物を腐食する性質を有する場合もあるので、接合金物は防錆措置をしたほうが望ましい。

7.3 構造的耐久性設計

7.3.1 水仕舞

構造は屋根や庇をつけるなど、できるだけ木材に雨がかかりにくいものとする。また、水道（みずみち）を考慮して、水たまりとなる部分には水抜きをつけること等の構造上の工夫をすること。

耐久性を向上させるためには、できるだけ屋根をつけたり、庇を長く取るなど、木部に雨水がかかりにくい構造にすることが望ましい。

屋根をつけない場合は、伝統的木橋の錦帯橋のように、木材を水平に使わず、できるだけ傾斜をつけた形で使用したり、水たまりとなる部分には水抜きをつけたり、木口が頭となる箇所には銅板で覆いをするなどの工夫が必要である。土中に埋め込む構造は腐りやすいので、できるだけ避けることが望ましい。

以下にいくつかの実例を示す。

(1) 屋根付き橋

木橋の耐久性を向上させるには、主桁に直接水を当てない方策を講ずることである。このために最も簡単な方策は屋根を付けることがあげられる。

ヨーロッパ、アメリカの古い木橋は圧倒的に屋根付き橋が多い。スイスの木橋参考書によれば、一般的に屋根付き木橋の耐用年数（大修理を要さない年月）は50年とされている。

参考として写真 - 解 7.3.1 に屋根付き橋の一例を示す。



写真 - 解 7.3.1 屋根付き橋の一例（シーダー橋、米アイオワ州ウィンターセット）

(2) 屋根の無い橋

屋根の無い橋の場合も、雨水が直接構造耐力要素（主桁）に掛からないような、また水が全ての構造要素に溜まりにくいような仕様とする。

1) 床材を張り出して主桁を保護する。

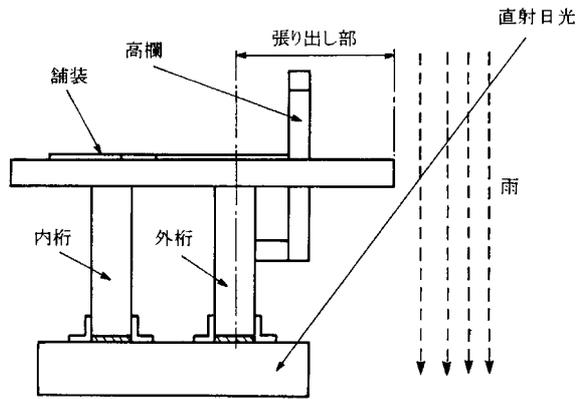


図 - 解 7.3.1 床板による主桁の保護の例

2) 主桁の外側に雨水の直接侵入を遮るブラインドを設置して主桁を保護する。

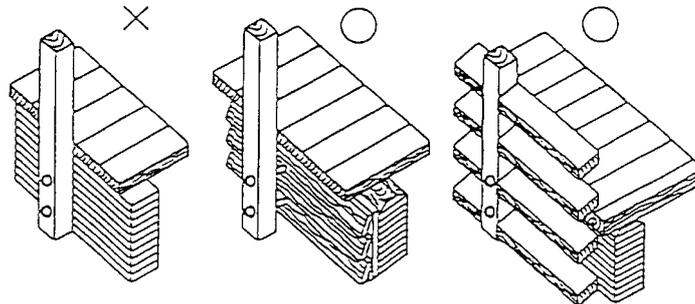


図 - 解 7.3.2 ブラインドによる主桁の保護の例

3) 細部での良好な水はけを確保する。やむを得ず水の溜まる箇所には水抜きを付ける。

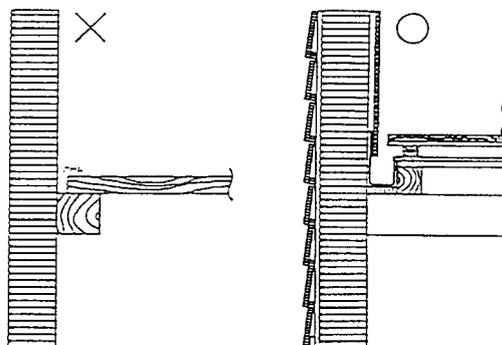


図 - 解 7.3.3 細部での良好な水はけの確保



写真 - 解 7.3.2 水処理を施した屋根の無い橋の一例（錦帯橋、山口県岩国市）

参考基準類 AITC

7.3.2 紫外線対策

紫外線対策上は、もともと木部が黒くなることを前提としたデザインを考えるか、塗装を施し定期的に塗り替えることが望ましい。

木材は、時間経過とともに黒化する傾向がある。紫外線対策上は、もともと木部が黒くなることを前提としたデザインを考えるか、濃色の塗装を施し、定期的に塗り替える。現在のところ、透明系の塗料の耐久性はあまり大きくない。

7.4 保守・点検・管理

橋梁全体について、定期的に異常がないかを確認すること。

保守・点検・管理のため、定期的に点検を実施して、腐朽等の異常がないかを確認すること。

第 8 章 防 火 設 計

8.1 防火設計の基本

必要とされる防火性能を確保する計画が望ましい。

参考規準類 木質構造設計規準・同解説

8.2 防火設計の方法

8.2.1 木材断面

木材の断面はできる限り大きなものとするのがよい。また、燃えしろを考慮して設計する場合の燃えしろ深さの値は、その防火性能を確保する値が望ましい。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

8.2.2 防火被覆設計

(a) 防火被覆の材料

防火被覆の材料は、耐火性のみではなく、使用部位に応じて耐久性や施工性を考慮して選定することが望ましい。

(b) 防火被覆の取付け

防火被覆材料は、適切な間隔で下地に留め付け、構造物の変形に追従できるものとするのが望ましい。

(c) 防火被覆の目地処理

火災時に防火上の弱点とならないように、十分な防火措置を講じることが望ましい。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

8.2.3 接合部の防火処理

接合金物を用いる場合には、十分な防火被覆を設けるか、金物を燃えしろの内側に納めることが望ましい。

参考基準類 木質構造設計規準・同解説

第9章 施 工

9.1 一般

木橋の建設に当たっては良好な品質を確保するために、発注打合せ、工程打合せ、架設方法打合わせを十分に行い、設計、施工の連携を図り、工事をスムーズに、しかも安全に進めることが望ましい。

9.2 検査

(1) 部材の寸法、形状の検査

部材の寸法や形状は定められた計測方法により正確に計測し、現場での架設に支障のないことを確認する。不具合が発生した場合には、設計者と相談の上対策を決定するのがよい。

(2) 接合部の検査

構造部材をボルト等で接合する場合は、ボルト孔径、孔相互間の位置精度に注意し、ボルト孔のあそびが構造のほかの部分に影響を及ぼさないように配慮するのがよい。

(3) 接合金物の寸法、形状の検査

接合金物の品質、寸法、形状は、組立に先だって十分検討し、部材の組立、強度に支障がないことを確認する。

(4) 防腐等処理、塗装の検査

各部材が仕様書通り防腐、防虫、防蟻処理、及び塗装処理されているか確認することが望ましい。特にボルト孔加工、切削加工などの部分に十分塗装処理されているか確認する。

9.3 工場製作

(1) 工作図の作成と承認

部材を工場製作する場合は、設計図書を基にして工作図を作成することが望ましい。不明な箇所は設計者と協議して必要に応じ、設計の変更や図面の修正を行った後、設計者の承認を得て製作することが望ましい。

(2) 墨つけ

墨付けは、工作図に基づき、定規、型板、及び鋼製巻尺等を用い、製作情報を正確、かつ明瞭に行うものとし、完成後も残るような場所には行わない。

(3) 切削加工

長さ方向の切断は、切断角度に十分留意し、正確に行う。また、接合金物、仕口などの切削は部材などを直接当てるなど十分な確認をした後実施するのがよい。

(4) ボルトの孔加工

ボルト等の接合金具の穴径精度や孔相互間の位置精度は、構造耐力に影響を及ぼさないように配慮し、現寸型版（フィルム、テンプレートなど）を用い、正確な位置に孔加工をする。

(5) 表面仕上げ

面取り、表面仕上げは要求精度に応じたものとし、軽微な損傷についてはパテ処理などを行う。

(6) 塗装

工場塗装は、塗装仕様に基づき、温度、湿度等の適切な環境条件の下で、木材が十分に乾燥している状態で塗装を行う。

9.4 製作そり

死荷重による桁のたわみに対して木材のクリープ変形を考慮し、ヤング係数の値を1/2として製作そりを算定することが望ましい。

桁は屋根を兼ねた床版で覆われ、気乾状態にあると見なすことができる。これにより死荷重による桁のたわみの2倍を製作そり(むくり)として桁の製作時に付けるものとする。

使用する樹種、構造型式によって、製作そりの量を調整し決定する。

北米(National Design Specification for Wood Construction,p.66,1986)では集成材に対し 2/3にとることが推奨されている。

参考基準類 木質構造計算規準・同解説,
National Design Specification for Wood Construction : USA,
AITC

9.5 輸送など

- (1) 部材には、発送に先立ち組み立て記号を記入しておくことが望ましい。
- (2) 輸送中に損傷の恐れがある場合は、あて木等で養生を行ったりまた、必要に応じて各部材を梱包する等の保護を行うことが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

9.6 部材の仮置き、仮設備および架設用器材の安全

「道路橋示方書・同解説（鋼橋編）」の 17.7.3 を準用する。

9.7 架設

(1) 架設計画

計画表は作業者相互の連携を確実にするため重要であり、作業の効率、安全がはかれるように十分に時間的余裕をもって作成することが望ましい。その際 工程表、人・クレーン・足場などの手配、安全対策と作業有資格者などは欠くことのできない項目であり、慎重に計画立案することが望ましい。

また、設計時に考慮した施工法、施工順序と異なる方法を用いる場合は、あらかじめ、架設時の応力と変形を検討し、安全を確かめなければならない。

(2) 架設準備作業

計画どおり架設を進めるには、事前の準備を十分に整えておくことが重要であり、担当者はこれらについて慎重かつ十分に管理が必要である。

(3) 地組

主構造部材の接合は、可能な限り地組とすることが望ましい。地組を行うときは、寸法精度を保持するために有効な架台、治具等を使用して接合を行う。

(4) 組立て

部材の組立ては、組立て記号、所定の架設順序に従って、正確に行うことが望ましい。組立て中の部材は必要に応じて養生を行い、念入りに取り扱って損傷の無いように、注意しなければならない。

部材の接触面は、組立てに先立って清掃しなければならない。

(5) 仮筋かい

組立ての際は、仮筋かいなどを適切に設け、変位の偏在が無いように、しかも安

全が確保されるようゆとりを持たせることが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

9.8 応力調整

応力調整の施工にあたっては、適切な方法により、導入応力が設計条件を満足していることを確認することが望ましい。

ケーブル部材を用いてプレストレスを導入するような構造の場合は、木材のクリープや異方性の材料特性に注意して、導入応力が設計条件を満足していることを確認するとともに、定期的な再プレストレスが可能となる構造上の配慮が必要である。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

9.9 塗装

鋼材塗装は温度、湿度などの適切な環境条件のもとに行うことが望ましい。

参考基準類 道路橋示方書・同解説

参考基準類

- 道路橋示方書・同解説 (日本道路協会)
- 立体横断技術基準・同解説 (日本道路協会)
- 木質構造設計規準・同解説 (日本建築学会)
- 「NDS」 : National Design Specification for Wood Construction、American Forest & Paper Association
- 「AITC」 : Timber Construction Manual、American Institute of Timber Construction
- 「AASHTO」 : Standard Specification for Highway Bridge、American Association of State Highway and Transportation Officials
- 「ASTM」 : American Society for Testing and Materials
- 「DIN」 : Deutches Institut fur Normung e.V.

参考図書類

- 木材工業ハンドブック改訂3版 林業試験場監修 (丸善、1982)
- 木橋づくり新時代 日本住宅・木材技術センター編著 (ぎょうせい、1995)

第 2 編 実験編

目次

	頁
モデル橋事業で実施された各種実験	2- 1
試験 1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験	2- 4
試験 2 アーチリブ接合部の構造確認試験	2-10
試験 3 接合部の構造確認試験	2-12
試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験	2-16
試験 5 二次接着の性能確認試験	2-20
試験 6 ボンゴシ材の鋼板挿入ドリフトピン接合の性能確認試験	2-23
試験 7 木質系トラスのパネル試験	2-26
検討課題一覧	2-32

モデル橋事業で実施された各種実験

近代木橋の歴史は比較的浅く、未だ 15 年程度である。したがって、技術的に解決されなければならない課題が数多く存在し、諸外国の基準や論文を頼りにしているところもある。

モデル事業の設計・施工においては、委員会内で各課題の検討を行うとともに、設計上の課題を確認する目的で各種実験を実施してきた。実験は、残念ながら予算上の都合もあり、試験体の数も少なく、各橋の構造上の安全性を個別に確認したことにとどまっている。

実験に際しては、過去、我が国で実施された木橋の研究・実験事例等についても調査したが、ごく一部の事例があるのみであり、モデル橋の設計・施工にあたって行った実験は、今後の木橋建設において貴重な参考事例となるものと考えられるので、ここに掲載することとした。限られた紙面での掲載となるので、詳細の内容等については参考文献（実験を実施された先生方の発表論文）を参照されたい。

また、実験結果については以下の理由により設計・施工編に反映するにはいたっていない。

絶対的なデータ数が少ないこと。

予算の関係から、各個別の橋梁の設計に採用した構造安全性の確認試験とならざるをえなかったこと。

実験のモデル化等は、試験実施機関の設備に合わせる形となったので、実橋と試験体との構造、スケールの相似則が若干異なること。

したがって、ここに紹介する実験結果は、参考実験事例として示したものである。今後、これを機会により多くの研究・実験が実施され、木橋の発展につながることを期待するものである。

実験概要一覧表

NO	モデル橋の形式	実験の目的	実験概要
1	アーチ橋	補剛桁接合部の繰り返し荷重に対する長期安定性の確認	引張試験 引張 + 曲げ試験
2	アーチ橋	アーチリブ接合部の圧縮荷重に対する構造安定性の確認	圧縮（座屈）試験
3	ラーメン橋	接合部の構造安定性の確認	曲げ試験
4	ラーメン橋	ラーメン橋の隅角部の挙動と構造安定性の確認	実況モデル試験 （1/3 モデル）
5		集成材の二次接着の安全性の確認	剥離試験
6		ボンゴシ材を使用した接合部の縁端距離が接合耐力に与える影響の確認	引張試験
7	トラス橋	木製トラスの変形性状と構造的安定性の確認	引張試験 トラス曲げ試験

各モデル橋で行われた実験の概要一覧

試験 No	モデル橋	実験概要	設計編の参照項目	実験方法	結果	考察
試験 1	串木野	・繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験	・ 5 . 6 . 1 ・ 5 . 6 . 3 ・ 5 . 6 . 4 ・ 5 . 8 . 1	・引張試験 ・引張 + 曲げ試験	・許容応力度範囲内の繰り返し荷重であれば接合の安定性は確保されていることが確認された。	・ボルト接着剤を併用した場合、繰り返しによるボルト孔の変化が少ない。
試験 2	串木野	・アーチリブ接合部の構造確認試験	・ 5 . 6 . 1 ・ 5 . 6 . 3 ・ 5 . 8 . 1 ・ 5 . 1 0 ・ 9 . 3 ・ 9 . 5	・圧縮（座屈）試験	・設計耐力に対し十分な安全性が確認できた。	・圧縮荷重を受ける接合部では、局部座屈が生じないように座屈防止用リブを設ける他、集成材の開き止め用ボルトをより端部へ取り付けの必要がある。
試験 3	久住	・接合部の構造確認試験	・ 5 . 6 . 1 ・ 5 . 6 . 3 ・ 5 . 6 . 4 ・ 5 . 8 . 1 ・ 5 . 1 1 . 6 ・ 9 . 3	・曲げ試験	・設計耐力以上の降伏荷重が確認された。	・破壊形状は、引張領域となる接合部下部において接合具の孔を結ぶような割裂で、脆性的に破壊した。
試験 4	久住	・ラーメン隅角部の構造確認試験	・ 5 . 6 . 1 ・ 5 . 6 . 3 ・ 5 . 6 . 4 ・ 5 . 8 . 1 ・ 5 . 1 1 . 6 ・ 9 . 3	・実橋モデル試験 （ 1 / 3 モデル）	・許容応力度から求めた設計値どおりの耐力が確認された。	・湾曲集成材に曲げが生じる場合、最外層のラミナの引張耐力に注意を払う必要がある。

試験 No	モデル橋	実 験 概 要	設計編の参照項目	実 験 方 法	結 果	考 察
試験 5	串木野	・二次接着の性能確認試験	・ 5 . 6 . 7 ・ 9 . 3	・剥離試験	・ボルト貫通による圧縮方法では、接着性能が確認された。また、添え板による圧縮方法では、添え板には剛性の高いものを使用する必要があることが確認された。	・部材の接着面全体に適切な圧縮圧力（針葉樹の場合は5 ~ kg/cm）が均質にかかるようにボルト位置や添え板の剛性を考慮する必要がある。
試験 6	串木野	・ボンゴシ材の鋼板ドリフトピン接合の性能確認試験	・ 5 . 6 . 3	・引張試験	・所定の端距離、縁距離を確保すれば、接合耐力は十分に確保されることが確認された。	・加力が繊維方向の場合は、端距離は最大耐力に大きく影響を与えるが、すべり剛性への影響は少ない。一方、加力が繊維直角方向の場合は、すべり剛性と最大耐力の両方に影響を与える。
試験 7	梶 原	・木質系トラスのパネル試験	・ 5 . 2 ・ 5 . 3 ・ 5 . 6 . 1 ・ 5 . 6 . 4 ・ 5 . 9	・引張試験 ・トラス曲げ試験	・トラスは弾性的挙動を示し、破壊荷重は許容応力法で設計した値の3.3倍となり、要求する強度に対し、安全であることが確認できた。	・試験1の結果を用いてトラス中央のたわみ量を予測することができる。 ・引張材の接合は脆性的に破壊するため、母材の強度に対し十分配慮する必要がある。

試験 1 繰り返し荷重による接合部の長期安定性能確認試験

(1) 目的

アーチ橋の補剛桁接合部の繰り返し荷重による安定性の確認

(2) 試験体

鹿児島県産の杉集成材を使用して製作した、接合部をモデル化した試験体に、静的引張、繰り返し試験、引張 + 曲げ繰り返し試験を実施した。試験体寸法は次のとおり。

静的引張試験 (3 体) \ 引張繰り返し試験 (9 体) (図 - 付 1.1)

母 材 : $L \times H \times W$ 1590 × 240 × 150 (mm)

接合部 : 挿入鋼板 $t = 9\text{mm}$

引張 + 曲げ繰り返し試験 (3 体) (図 - 付 1.2)

母 材 : $L \times H \times W$ 4020 × 280 × 150 (mm)

接合部 : 挿入鋼板 $t = 9\text{mm}$

材料特性 杉集成材 : $E = 80,000\text{kgf/cm}^2$

鋼 板 : SS400

ボルト、ドリフトピン : $\phi = 20\text{mm}$

ボルト孔径 ボルト : $\phi = 22\text{mm}$

ドリフトピン : $\phi = 20\text{mm}$

(3) 試験方法

引張繰り返し試験

引張荷重 : 3t、 $\pm 1.2\text{t}$ 、 $\pm 2.4\text{t}$

周波数 : 4Hz

回数 : 50 万回

引張 + 曲げ繰り返し試験

引張荷重 : 3t、曲げ荷重 : 0.3t

周波数 : 3Hz

回数 : 50 万回

(4) 結果

引張繰り返し試験

(1) ボルト

	繰返し荷重 ± 1.2t		繰返し荷重 ± 2.4t	
	7,200 回	504,400 回	7,200 回	504,400 回
+ 2.0mm	+ 2.8mm	+ 5.3mm	+ 2.9mm	約 + 5.0mm

(2) ドリフトピン

	繰返し荷重 ± 3.0t		繰返し荷重 ± 2.4t	
	7,200 回	504,400 回	7,200 回	504,400 回
± 0.0mm	+ 1.8mm	+ 1.9mm		

(3) ボルト + 接着剤

	繰返し荷重 ± 1.2t		繰返し荷重 ± 2.4t	
	7,200 回	504,400 回	7,200 回	504,400 回
± 0.0mm	+ 1.8mm	+ 1.9mm	+ 1.2mm	+ 1.2mm

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1)

引張 + 曲げ繰返し試験

(1) ボルト

	繰返し荷重 ± 1.2t			
	7,200 回	507,600 回		
+ 2.0mm	+ 5.9mm	+ 6.7mm		

(2) ドリフトピン

	繰返し荷重 ± 3.0t			
	7,200 回	504,400 回		
± 0.0mm	+ 1.8mm	+ 1.9mm		

(3) ボルト + 接着剤

	繰返し荷重 ± 1.2t			
	14,040 回	140,400 回		
± 0.0mm	+ 3.2mm	+ 3.3mm		

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1)

、 の試験結果より、ボルト接合に比べ、ドリフトピン接合は接合部の変形が発生しにくい接合形式であることが確認できた。(5.6.1、5.6.4 解説文)同様に、ボルトに接着剤を併用した接合形式も、繰返しによるボルト孔の変形が少ない接合であることが確認できた。

(5) 考察

通常 M20 ボルトの場合では、ボルト孔径はボルト径 + 2.0mm で加工されている。本試験の結果から、長期に繰返し荷重が載荷される状況下に置かれる場合は、ボル

ト孔径はできる限りボルト径と同径で加工することが望ましく、ボルト孔加工の際に十分な精度管理が重要となる。(5.6.1、5.6.4 解説文)特にボルト孔径の変化が構造や変形に重大な影響を与えるような場合には、ドリフトピンによる接合形式やボルトに接着剤を併用する接合形式を検討する必要がある。(関連項目 5.6.7、9.3)

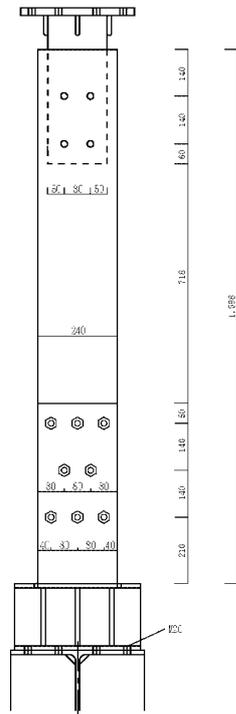


図 - 付 1.1 引張 + 曲げ繰り返し試験 試験体

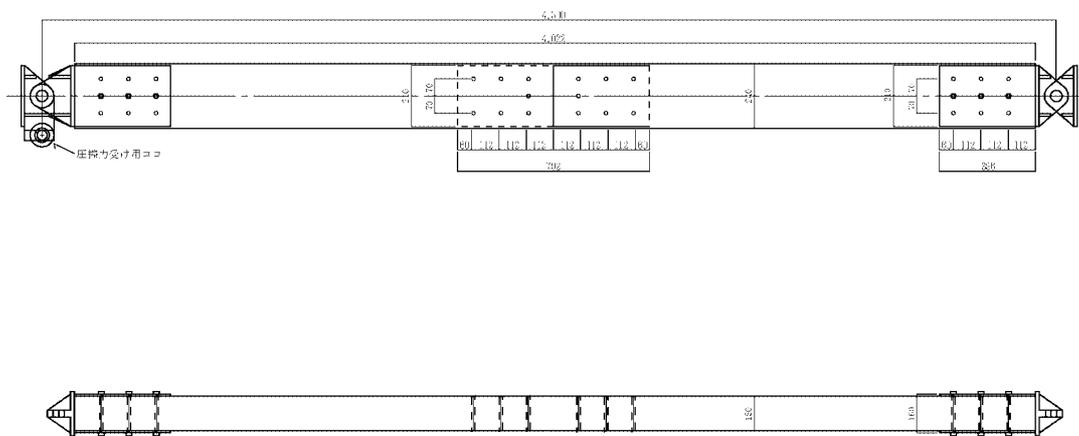


図 - 付 1.2 繰り返し引張試験 試験体

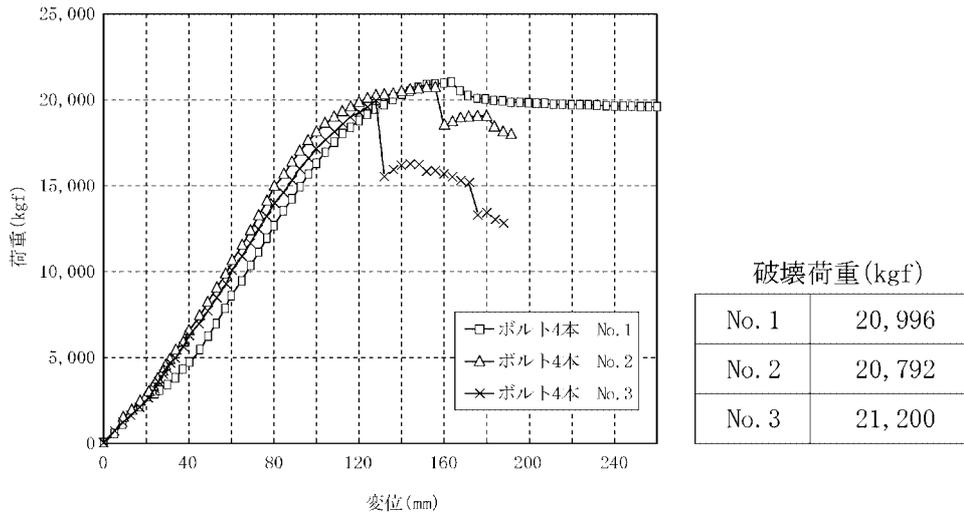
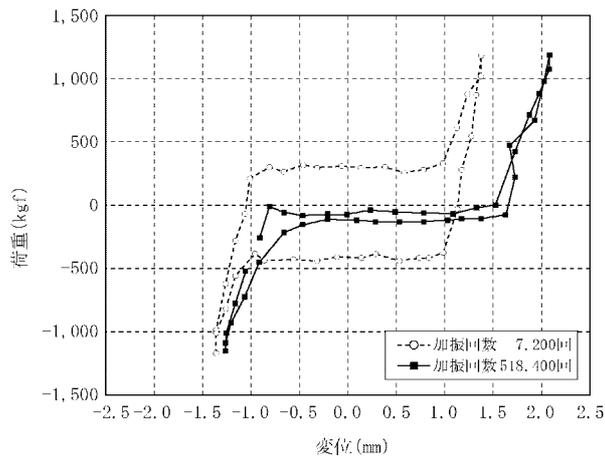


表 - 付 1.1 静的引張試験結果

引張荷重：±1.2t、周波数：4Hz、回数：50万回、接合方法：ボルト接合



引張荷重：±2.4t、周波数：4Hz、回数：50万回、接合方法：ボルト接合

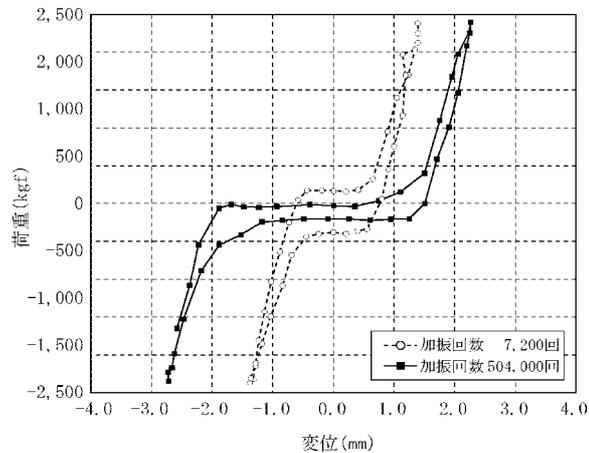
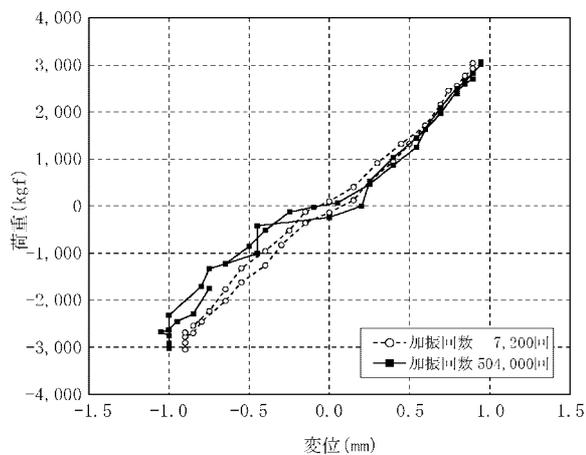


表 - 付 1.2 引張繰り返し試験での1サイクルにおける荷重と変位の関係

引張荷重：±3.0t、周波数：4Hz、回数：50万回、接合方法：ドリフトピン接合



引張荷重：±2.4t、周波数：4Hz、回数：50万回、接合方法：ボルト + 接着剤接合

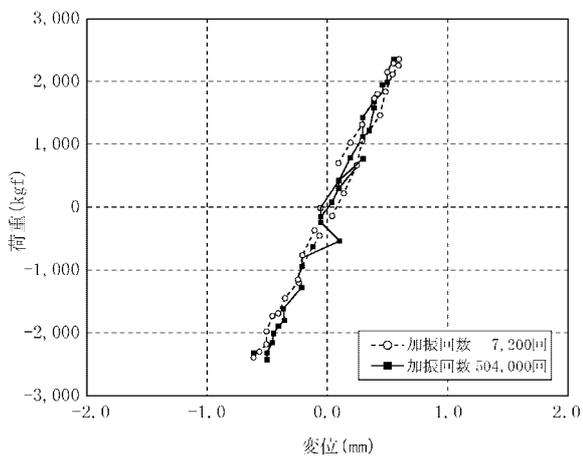
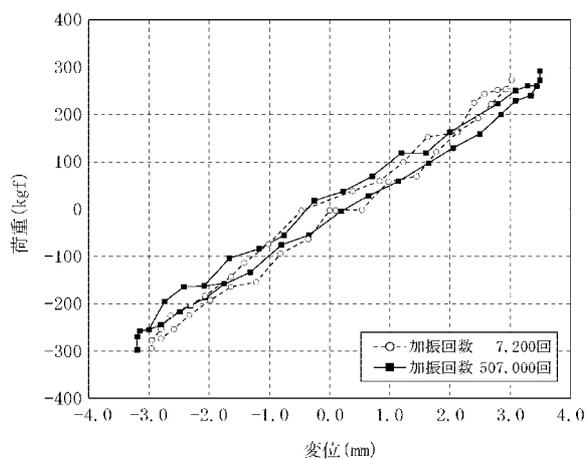


表 - 付 1.2 引張繰り返し試験での 1 サイクルにおける荷重と変位の関係 (2)

引張荷重：3t、曲げ荷重：0.3t、周波数：3Hz、回数：50万回、接合方法：ボルト接合



引張荷重：3t、曲げ荷重：0.3t、周波数：3Hz、回数：14万回、接合方法：ボルト+接着剤接合

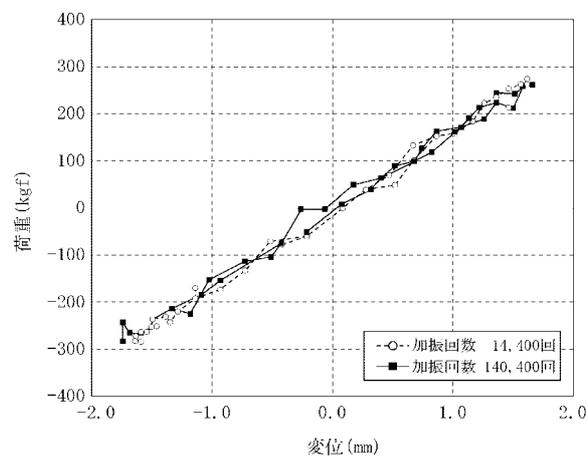


表 - 付 1.3 引張 + 曲げ繰り返し試験での 1 サイクルにおける荷重と変位の関係

試験 2 アーチリブ接合部の構造確認試験

(1) 目的

アーチリブ接合部の圧縮荷重による接合部の構造安定性の確認

(2) 試験体

鹿児島県産の杉集成材を使用して製作した、モデル化した接合部試験体を用いた。
試験体数は3体。

母材：L×H×W 3860×420×300 (mm)

接合部：挿入鋼板 t=9mm

材料特性 杉集成材：E=80,000kgf/cm²

鋼板：SS400

ボルト、ドリフトピン：φ=20mm、

ボルト孔径 ボルト φ：φ=22mm

ドリフトピン：φ=20mm

(3) 試験方法

載荷試験機にて接合部に単調一方向荷重として圧縮荷重を与え、破壊相当まで加力した。

(4) 結果

各試験体の座屈荷重 - 変位曲線は表 - 付 2.1 に示すとおりで、試験体の設計耐力 (50.1tf) と比較すると、平均値では設計荷重に対して十分な接合耐力があり、アーチリブ接合部の構造安全性能が確認できた。しかし、設計座屈荷重 (85.20tf) と比較すると、試験体により P_{max} の値にばらつきが大きく、試験体設置時の初期荷重での変位が、偏芯負荷となったことによって格差が生じたものと考えられる。また、試験体は幅方向をボルト接合としているために、座屈時に端部のずれ等が生じたものと考えられる。(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.8.1、5.10、9.3)

(5) 考察

上記の結果より、圧縮荷重を受ける接合部では、架設時に偏芯負荷が作用しないよう、また負荷方法と軸芯とが一致することが必要であり、地組時や、架設時での精度保持の対策が必要となる。

また、座屈箇所が、接合部添え板終端から、集成材端部のスリット鋼板部に集中していることから、接合部の集成材の開きボルト止ボルトをより端部へ設ける。座屈防止用リブを延長する必要がある。

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.8.1、5.10、9.3、9.5)

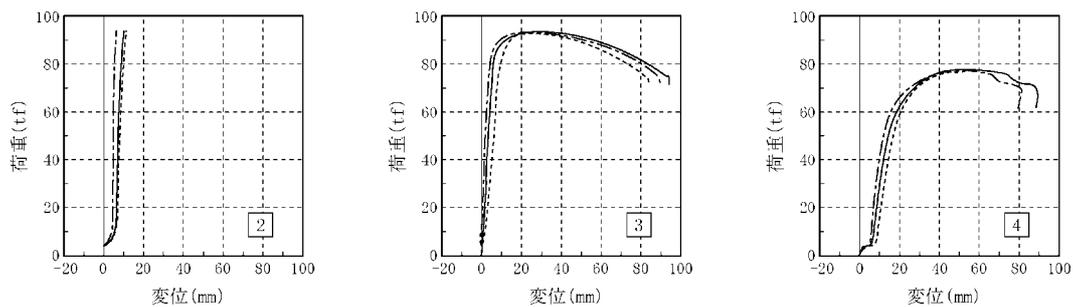


表 - 付 2.1 荷重 - 変位曲線

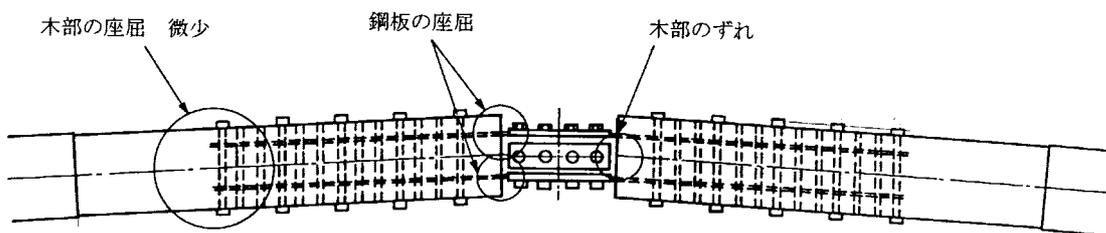


図 - 付 2.1 試験体座屈の様子

試験 No	設計耐力 (t f)	Pmax (t f)	備 考
2	5 0 . 1	9 4 . 6	座屈せず中断
3	5 0 . 1	9 2 . 7	
4	5 0 . 1	7 8 . 1	3mm の初期たわみ

表 - 付 2.2 試験結果 (最大耐力 Pmax)

試験 3 接合部の構造確認試験

(1) 目的

ドリフトピンを使用した鋼板挿入型の主桁接合部の構造安定性の確認

(2) 試験体

大分県産の杉集成材を使用して製作した、モデル化した接合部試験体を用いた。試験体数は3体。

曲げ試験

母材：L×H×W 10,000×900×150 (mm)

接合部：挿入鋼板 t=9mm

せん断試験 (載荷試験 A、B)

母材：L×H×W 5,000×900×150 (mm)

接合部：挿入鋼板 t=9mm

材料特性 杉集成材：E=80,000kgf/cm²

鋼板：SS400

ボルト、ドリフトピン：φ=20mm、

ボルト孔径 ボルト φ：φ=22mm

ドリフトピン：φ=20mm

(3) 試験方法

曲げ試験

三等分点片振り繰り返し載荷で荷重制御とし、荷重が 5t、10t、15t になると荷重を一旦除荷し、再び破壊に至るまで荷重を載荷した。(図 - 付 3.1 (a) (b))

せん断試験

1 点中央集中片振り繰り返し載荷で荷重制御とし、荷重が 10t、15t、20t、25t、30t になると荷重を一旦除荷し、再び破壊に至るまで荷重を載荷した。(図 - 付 3.2、3.3)

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1)

(4) 結果

曲げ試験

本試験は、ほぼ曲げモーメントのみが接合部に作用する状態で実施された。接合部の荷重～変位の関係は、基本的に破壊に至るまではほぼ直線的に変化している。

(5.6.1、5.6.3、5.6.4 解説文) また、他の測定データより、集成材と挿入鋼板とのずれは小さく、破壊レベルまで母材と挿入鋼板との一体性がドリフトピン及び、ボルトによりとられていることが確認できた。この曲げ試験での破壊形状は、引張り領域となる接合部下側においてドリフトピン及びボルト孔を結ぶような割裂が水平

方向と、鉛直方法に入るといったものであった。

試験結果から得られた許容値（比例限界）と許容応力度から求めた許容値との比が 3.1～3.7 であることから、3.0 以上の安全率が確保されていると判断できる。

（関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1）

せん断試験

載荷タイプ A によるせん断破壊は、載荷途中で反力を受ける支点において、大規模なめり込み破壊が生じたために、中止となった。載荷タイプ B はせん断試験というよりは（曲げ＋せん断）試験となっており、曲げ試験と同様な挙動及び破壊形状を示した。ただし、本試験では載荷点が接合部中心の鋼板上となっているために生じたものと考えられた。

（関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1）

(5) 考察

接合部の変位は、ボルト孔加工の精度によるガタや初期スリップ(5.6.1、5.6.3、5.6.4 解説文)に与える影響が大きいので、ボルト孔の加工は十分な精度管理が必要である。

（関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1、9.3、9.5）

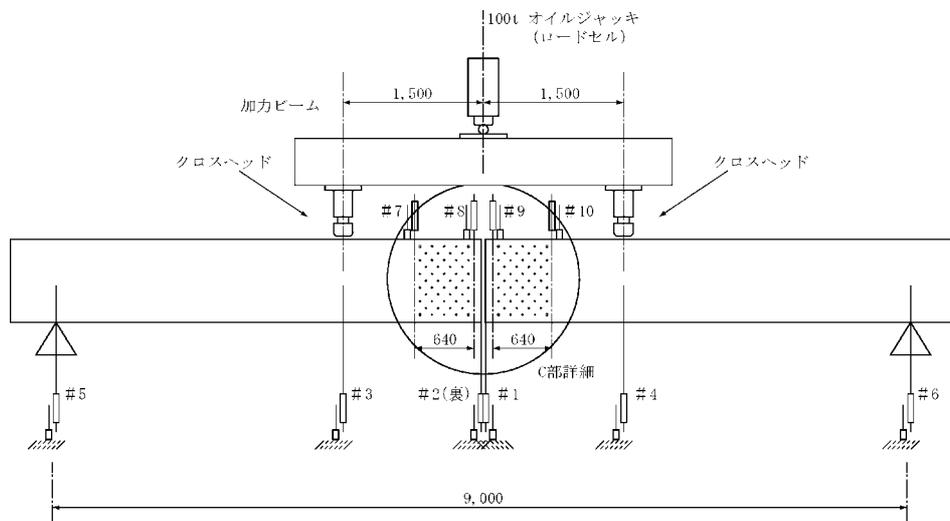


図 - 付 3.1 (a) 曲げ試験装置

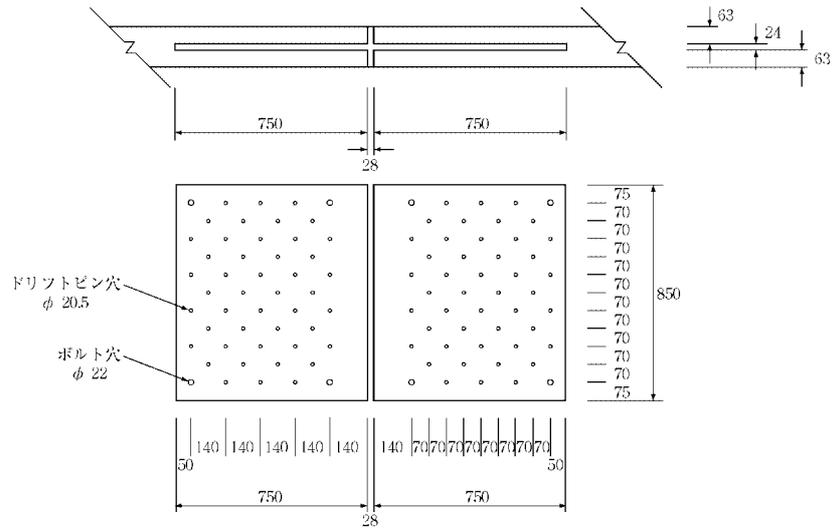


図 - 付 3.1 (b) C 部詳細図 (接合中央部)

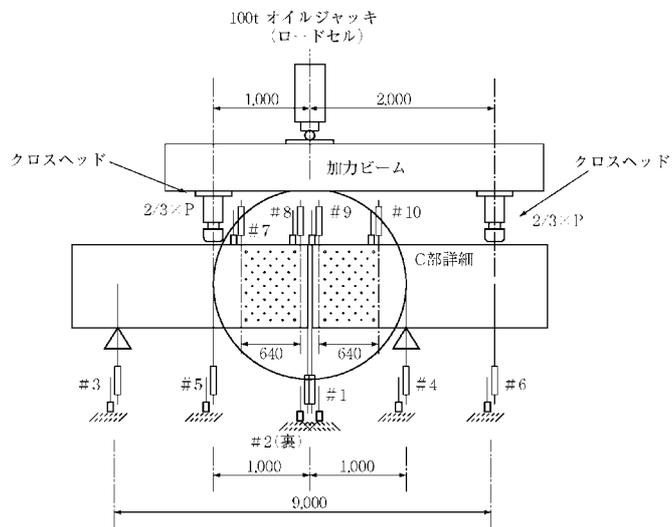


図 - 付 3.2 せん断試験装置 (载荷タイプ A)

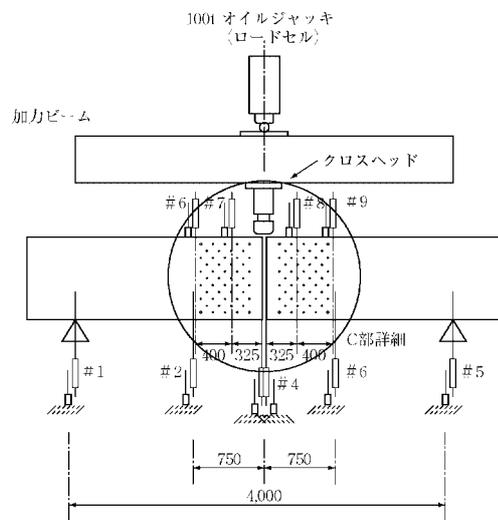


図 - 付 3.3 せん断試験装置 (载荷タイプ B)

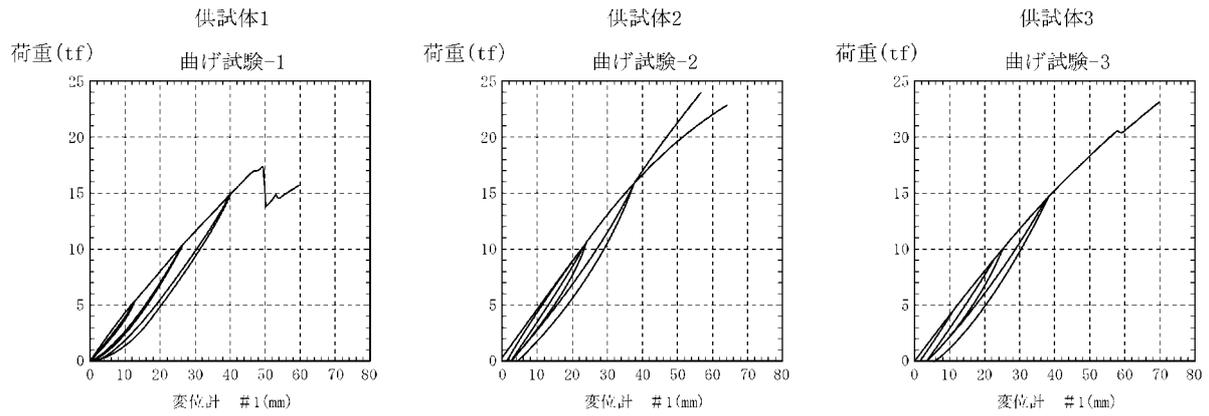


図 - 付 4.1 曲げ試験結果

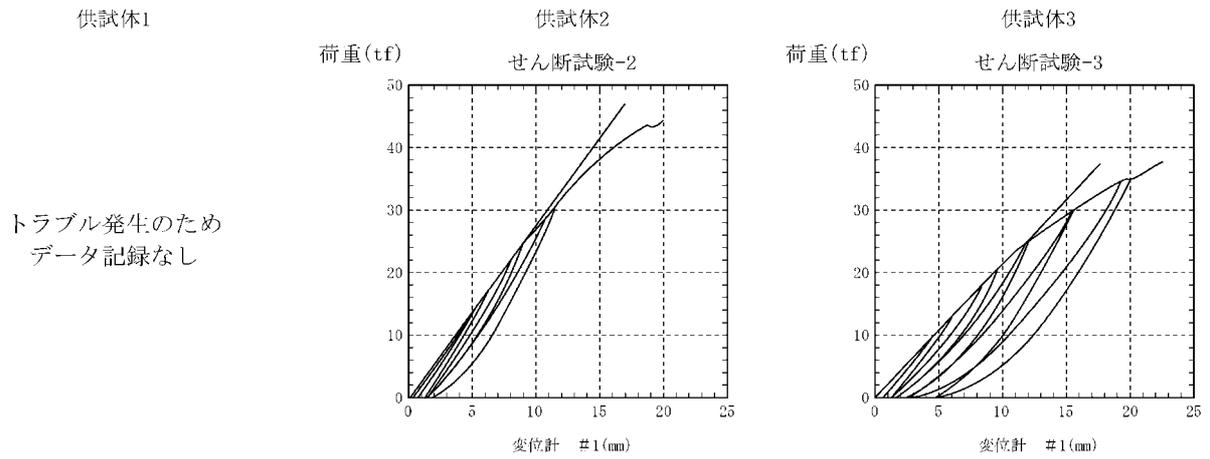


図 - 付 4.2 せん断試験結果

試験 4 ラーメン隅角部の構造確認試験

(1) 目的

方杖ラーメン橋の湾曲集成材によるラーメン隅角部の挙動と構造安定性の確認

(2) 試験体

大分県産の杉集成材を使用して製作した、1/3 モデル化した接合部試験体を用いた。

(図 - 付 4.1, 4.2)

試験体数は 2 体。

母材：L×H×W 9,400×300×150 (mm)

接合部：挿入鋼板 t=9mm

材料特性 杉集成材：E=80,000kgf/cm²

鋼板：SS400

ボルト、ドリフトピン：φ=20mm、

ボルト孔径 ボルト φ：φ=22mm

ドリフトピン：φ=20mm

(3) 試験方法

荷重タイプ A

2 点対称加力片振り繰り返し載荷で変位制御とし、着目位置の変位が 18mm、36mm、54mm に達したら荷重を一旦除荷し、再び破壊に至るまで荷重を載荷した。

(図 - 付 4.1)

荷重タイプ B

1 点中央集中片振り繰り返し載荷で変位制御とし、着目位置の変位が 18mm、36mm、54mm に達したら荷重を一旦除荷し、再び破壊に至るまで荷重を載荷した。

(図 - 付 4.2)

(4) 結果

荷重タイプ A

本試験では、ラーメン方杖のピンに予想外の破断が発生したために、途中で試験を中断した。

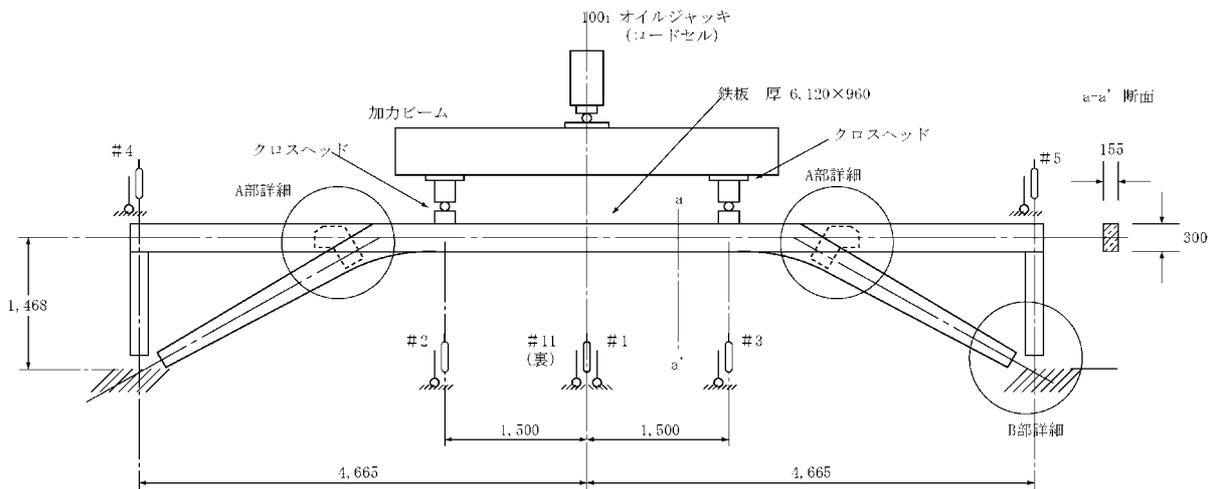
荷重タイプ B

載荷タイプ B では、荷重 15.5t 時 (変位 76.475mm) に載荷点直下のラーメン隅各部の下側集成材に割裂が発生した。この破壊により構造系が変化し、一挙に加力が抜け、いったん荷重レベルは 7.0tf 程度までに低減した。引き続き荷重を載荷したところ 8.73tf 時 (変位 102.41mm) に反対側のラーメン隅各部の上側集成材に割裂が発生したが、比例限界に相当する値 (最大荷重の 1/2) が、母材の許容応力度から求めた許容値に対しほぼ 2 倍の値を示しており、許容応力度レベルでは設計通りの値を示すことが確認できた。

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1、5.11.6)

(5) 考察

ラーメン隅角部の下側集成材に割裂が生じたことから、部材断面に引張が生じる場合は、ラーメン隅角部のような湾曲材でも集成材の製造時に引張り側に使用するひき板（ラミナ）により引張り強度の大きなものを使用する必要があり、構造形式に応じて集成材の構成、等級を検討する必要がある。



(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4、5.8.1、5.11.6、9.3)

図 - 付 4.1 1/3 スケールモデル (载荷タイプ A)

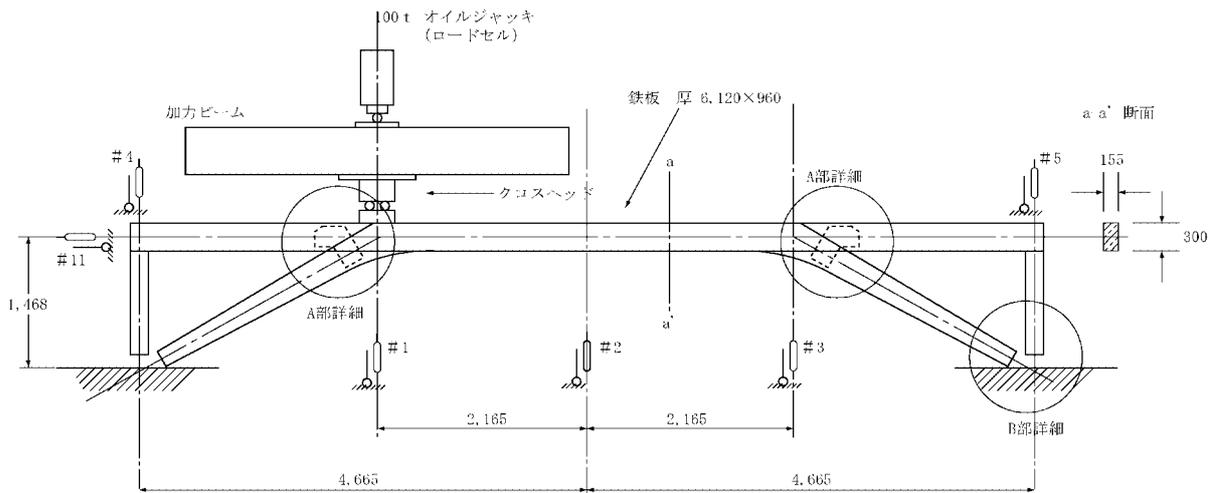


図 - 付 4.2 1/3 スケールモデル (载荷タイプ B)

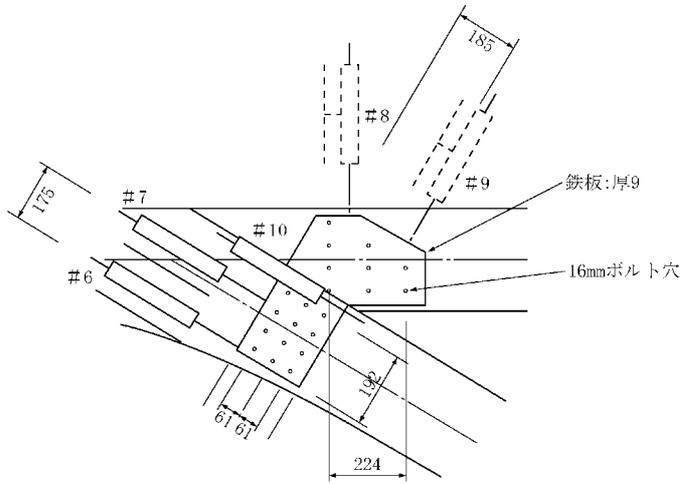


図 - 付 4.3 A - A'部詳細図

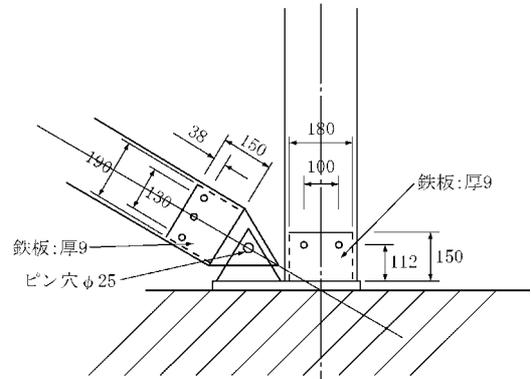


図 - 付 4.4 B部詳細図

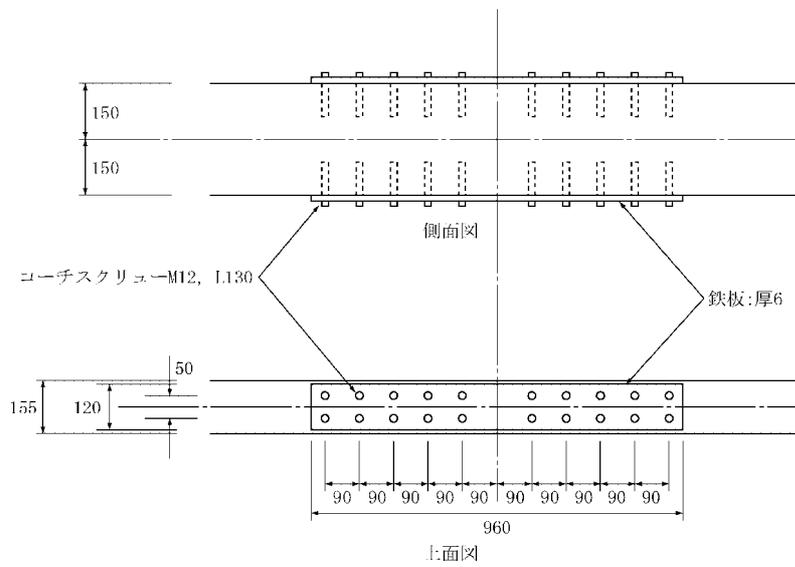


図 - 付 4.5 試験体中央部

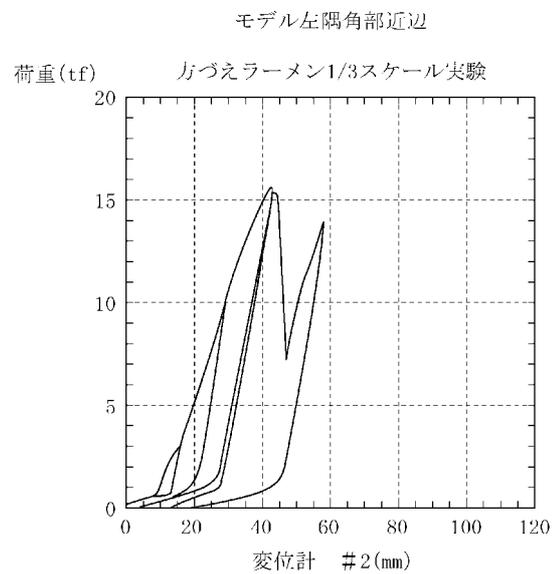
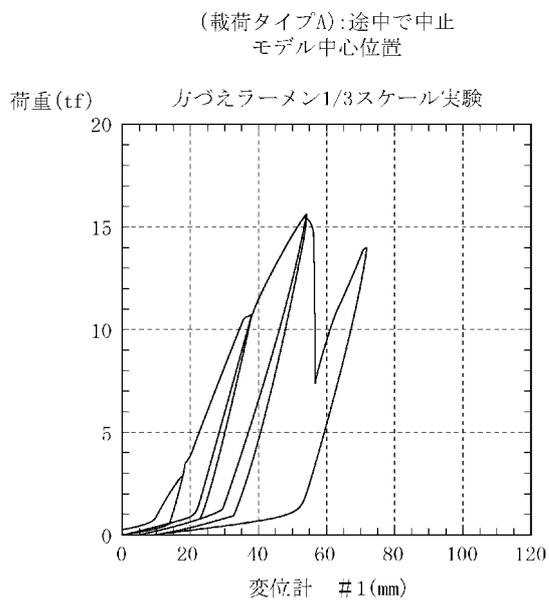


表 - 付 4.1 試験結果 (タイプ A)

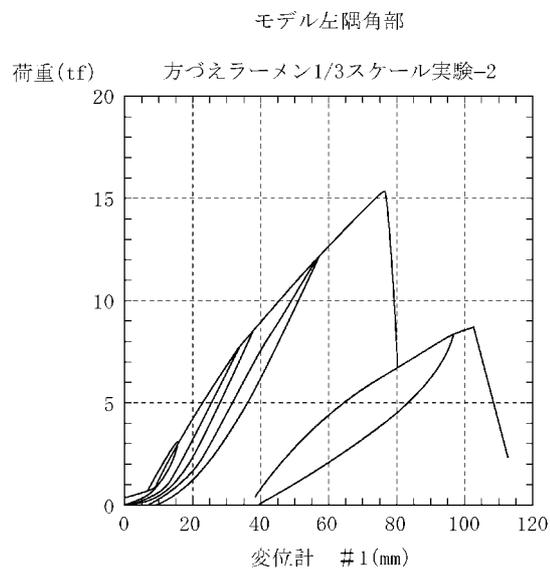
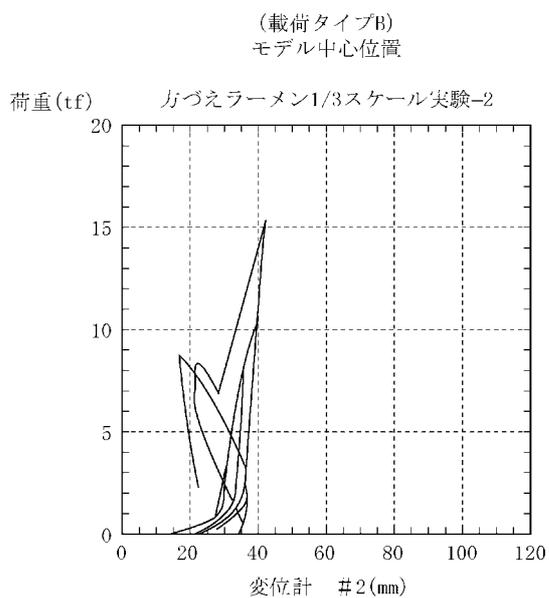


表 - 付 4.2 試験結果 (タイプ B)

試験 5 二次接着の性能確認試験

(1) 目的

二次接着をした構造部材についての確認

乾湿の繰り返しによる部材のそり、割れが発生し、圧縮軸力が作用する部材強度の構造安全性に与える影響。

二次接着の接着力の低下や、接着層近傍の木材の劣化に起因した構造体の一体化に対する構造安全性に与える影響。

(2) 試験体

鹿児島県産の厚さ $W=150\text{mm}$ 、積層厚 $H=900\text{mm}$ 、長さ $L=1000\text{mm}$ の杉集成材を、接着剤は積層に使用したものと同一レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を使用。二次接着の方法は貫通ボルトを使用した二次圧縮方法（タイプ 1）図 - 付 5.1 と、従来の二次圧縮（タイプ 2）図 - 付 5.2 を用いて試験体を作成し、図 - 付 5.3 のように切り出してサンプリングを行った。試験体寸法は $90 \times 90 \times 100(\text{mm})$ とし、減圧加圧用試験体として、各部位の特徴がつかめるように 1 体の試験体から 18 体を採取した。

(3) 試験方法

日本農林規格に定める使用環境 1 の条件で減圧加圧剥離試験を行い、二次接着層の両木口面における剥離長さが 3mm 以上を測定し剥離率を求めた。

(4) 結果

タイプ 1 については、総合評価で剥離 0%、0.5% と良好な結果を示した。二次接着層厚も材縁部でも中央部と殆ど差が認められず、均等な圧縮力の伝達が行われたことが確認された。

タイプ 2 については、剥離率が 6.8% ~ 9.9% と JAS の基準値 5% を下回る結果となった。特に中央部に近いサンプルで剥離が多く確認された。

（関連項目 5.6.7）

(5) 考察

タイプ 1 では集成材に圧縮ボルト用の貫通ボルト孔明け、圧縮作業後の埋木、補修作業が必要となるため、外観を損なわない配慮が必要である。また、より大きな圧縮圧力を確保するために、圧縮ボルト本数を増やすか、ボルト 1 本当たりの圧縮圧力を増やすことが必要となる。

タイプ 2 の剥離率が大きい原因は、圧縮ブロックに剛性の低い木質ブロックをしたことにより、圧縮圧力が材縁部に集中し、材中央部も含めて均等にかからなかったことによる実験上の問題と考えられる。

二次接着部材を用いての幅広部材の製造のためには、安定した圧縮圧力を得る必要がある。製造にあたって事前に適切な当て板厚さ、圧縮ブロック間隔値を求める必要がある。(関連項目 5.6.7、9.3)

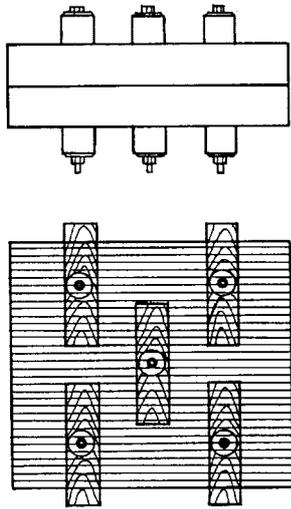


図 - 付 5.1 試験体 (タイプ 1)

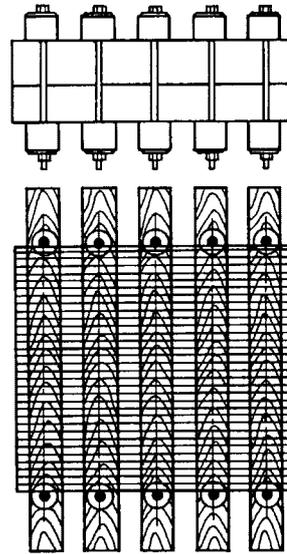
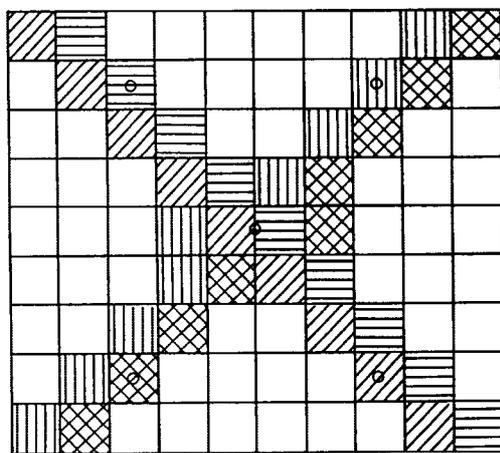


図 - 付 5.1 試験体 (タイプ 2)



-  減圧加圧試験体
-  減圧加圧試験体
-  ブロックせん断試験体
-  浸せき剥離試験体

図 - 付 5.3 サンプルング箇所

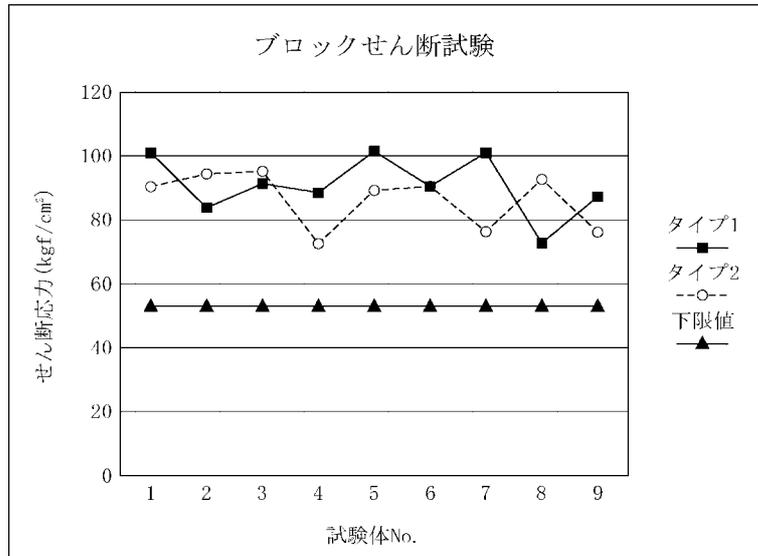


表 - 付 5.1 ブロックせん断試験結果

試験 6 ポンゴシ材の鋼板挿入ドリフトピン接合の性能確認試験

(1) 目的

ポンゴシ（エッキ、またはアゾベ）材を木製高欄に使用するに際し、本基準で針葉樹集成材接合部に対し規定している端距離、縁距離の規定が同材にも適用されるべきかどうかを確認する。

(2) 試験体

母材：L×H×W 450×150×100 (mm) (図 - 付 6.1、6.2)

接合部：挿入鋼板 t=9mm

材料特性 杉集成材：E=80,000kgf/cm²

鋼板：SS400

ボルト、ドリフトピン：φ=16mm、

ボルト孔径 ドリフトピン：φ=16mm

(3) 試験方法

単調増加荷重で破壊まで裁可した。

(4) 結果及び考察

試験結果より、0度方向加力の場合では、最大耐力に関しては端距離の影響は大きく、端距離と強度との関係は針葉樹集成材同様に明白であるが、すべり係数に関しては端距離の影響は殆ど認められない。(5.6.1、5.6.4 解説文)(図 - 付 6.3)

90度方向加力の場合は、0度方向加力の場合と異なり、縁距離が剛性、最大耐力の双方に影響を与えることが明らかとなった。特に90度方向加力の場合、荷重を受けているドリフトピン下部の木材繊維が梁状に曲げ変形を起こすことが予想され、縁距離はその木材繊維の束の梁せいに相当するため、すべり係数への影響が明確に現れたものと推定される。(5.6.1、5.6.4 解説文)

(図 - 付 6.4, 6.5)

(関連項目 5.6.1、5.6.3、5.6.4)

(5) 今後の課題

本基準で規定している端距離、縁距離の規定値より、同材の場合は緩和が可能であることが試験結果より推測された。ポンゴシ（エッキ、またはアゾベ）材の本基準への採用については、各種の確認試験を行い、物理的特性値、許容応力度、接合強度を明確にする必要がある。

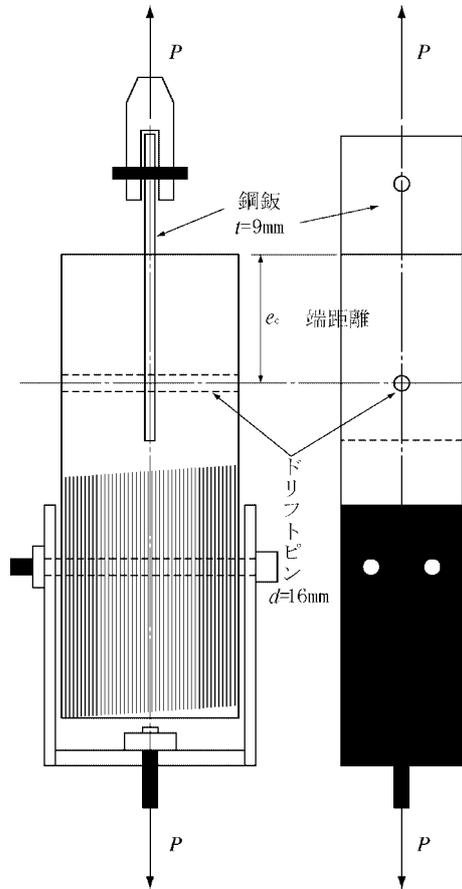


図 - 付 6.1 0度方向加力試験の試験体

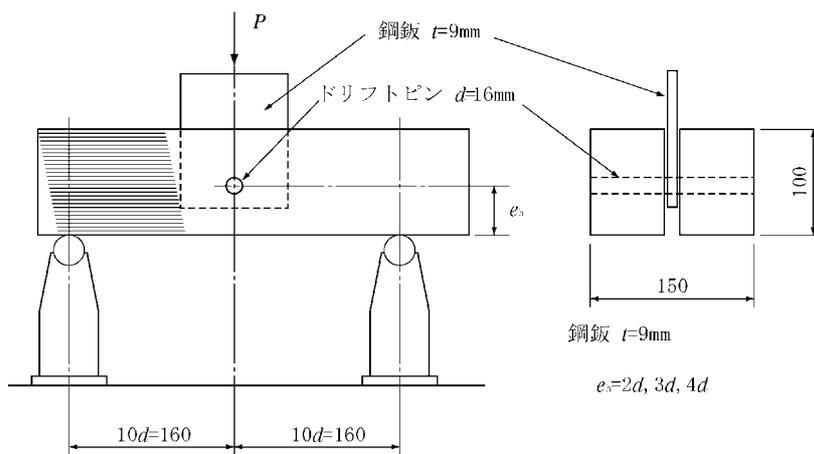


図 - 付 6.2 90度方向加力試験の試験体

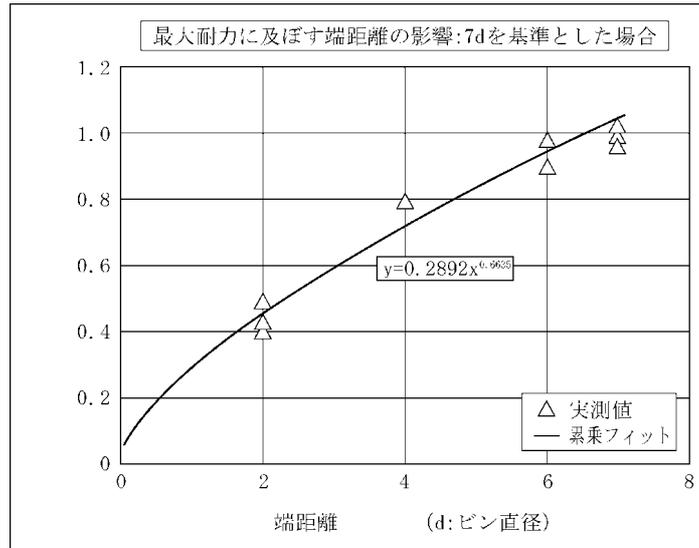


図 - 付 6.3 端距離と最大耐力の関係図

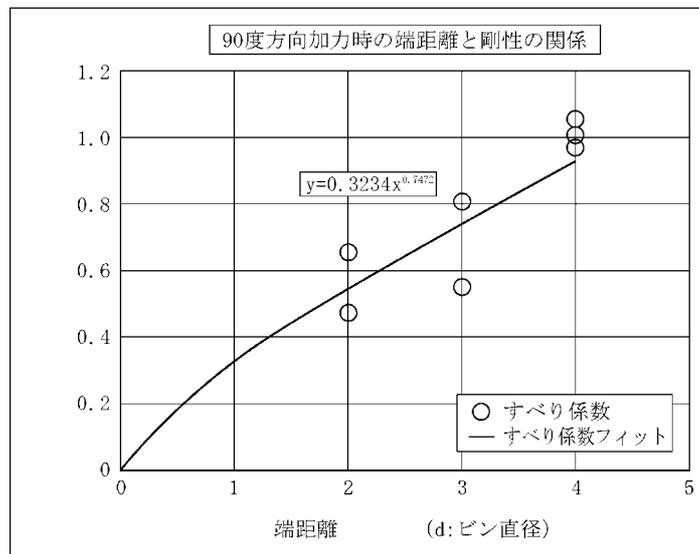


図 - 付 6.4 90度方向加力時の縁距離と剛性の関係図

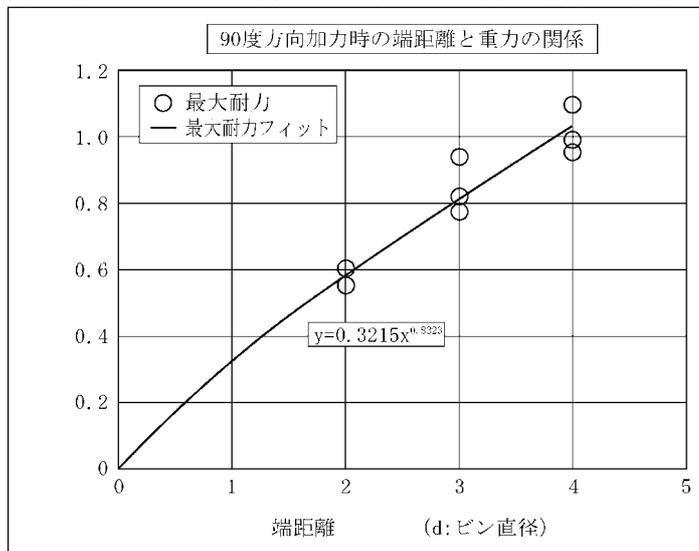


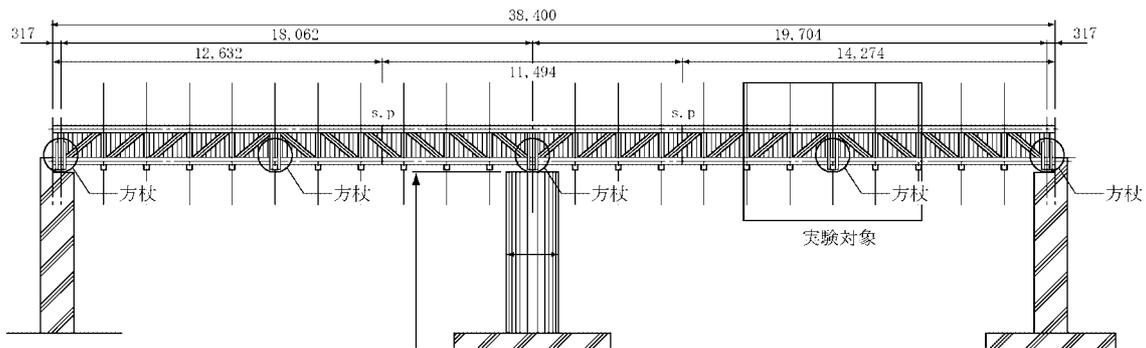
図 - 付 6.5 90度方向加力時の縁距離と最大耐力の関係図

試験 7 木質系トラスのパネル試験

(1) 対象となるモデル橋の概要

形式 2 径間連続トラス橋

橋長 38.4M 最大支間長 19.704M



(2) 実験の目的

木製トラスの構造特性と安全性の確認

(3) 実験概要

1. 引張ユニット試験 (図 1) 6 体
2. トラスパネル試験 (図 2) 3 体

(4) 試験体

下記に部材断面寸法、及び断面性能を下記に示す。母材はスギ集成材を使用した。

試験 1 引張ユニット試験 接合方式：鋼板挿入

母材：H×W 180×150 (E75-F270)

鋼板：t=9 (SS400)、ボルト (9 本)： = 16mm (ボルト孔径 18mm)

試験 2 トラスパネル試験 接合方式：鋼板挿入

母材：H×W 弦材 240×150 (E75-F270)、腹材 180×150 (E75-F270)

鋼板：t=9 (SS400)、ボルト (表 1 参照)： = 16mm (ボルト孔径 18mm)

(5) 試験方法

試験 1 単調増加荷重で破壊まで載荷。

試験 2 1 体目 単調増加荷重で破壊まで載荷。

2 体目 40t まで載荷後、一旦除荷。再び単調増加荷重で破壊まで載荷。

3 体目 10、20、30、40t と載荷と除荷を繰り返す。

(6) 結果及び考察

試験 1 (図 3)

- a, 降伏耐力は計算式(5.6.9式)の約 1.35 倍で、降伏モードはボルトの塑性曲げ変形であった。この降伏モードは理論(木質設計規準 604 参照)と整合している。
- b, すべり剛性は理論式(5.6.4 解説文)の約 1/4 程度であった。要因としてスギの特性、ボルトの多数本配置の影響(5.6.4 解説文)が考えられるが、今後の実験で追求していきたいテーマといえる。

試験 2 (図 4、図 5、図 6)

- a, 基本的に弾性的な挙動を示すが処女載荷時と、除荷時、再載荷時の剛性は異なる。

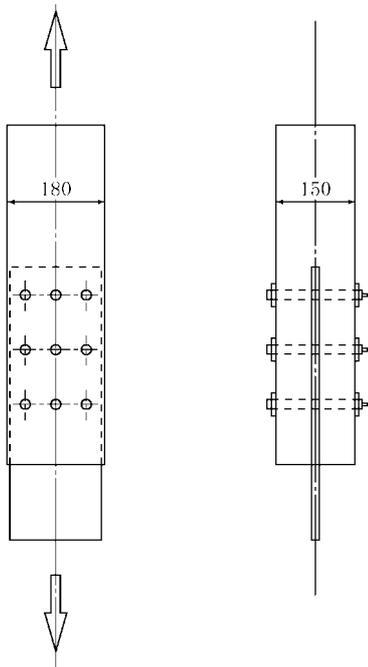
再載荷時には除荷時と同じ経路を辿る。また応答特性は荷重履歴によらない。除荷、再載荷を繰り返しても荷重 - 変位曲線の包括線は、処女載荷時のそれに一致する。

(関連項目 5.6.1、5.9)

- b, 破壊は鉛直材の接合部で、接合パネルが抜ける形状で脆性破壊した。破壊荷重の平均値は許容応力度設計から算出した外力の値の約 3.3 倍で、要求する強度に対し安全であることが確認できた。(関連項目 4.4、5.2、5.3、5.5、5.6.4、5.9)
- c, 腹材のすべり剛性は試験 1 の値に対し 10~20%低下している。詳細は不明であるが、部材の 2 次応力によるボルト負担力の偏りや加工精度が要因として考えられる。

(関連項目 5.6.4、5.9)

- d, 試験 1 から得られたすべり剛性の値を 15%低減した値の利用と、試験 1 から得られた初期ガタによる変形を幾何学的に利用することによりスパン中央のたわみ量が予測でき、実験値の近似値を得られた。(関連項目 4.2.2、5.1.4、5.1.5)



節点	弦材	束材	斜材
A, F	9	2	12
B, E	9	7	9
C	2	2	-
G, K	2	-	2
H, J	9	7	9
I	-	7	9

表 - 付 7.1 ボルト本数 (本)

図 - 付 7.1 引張ユニット試験試験体

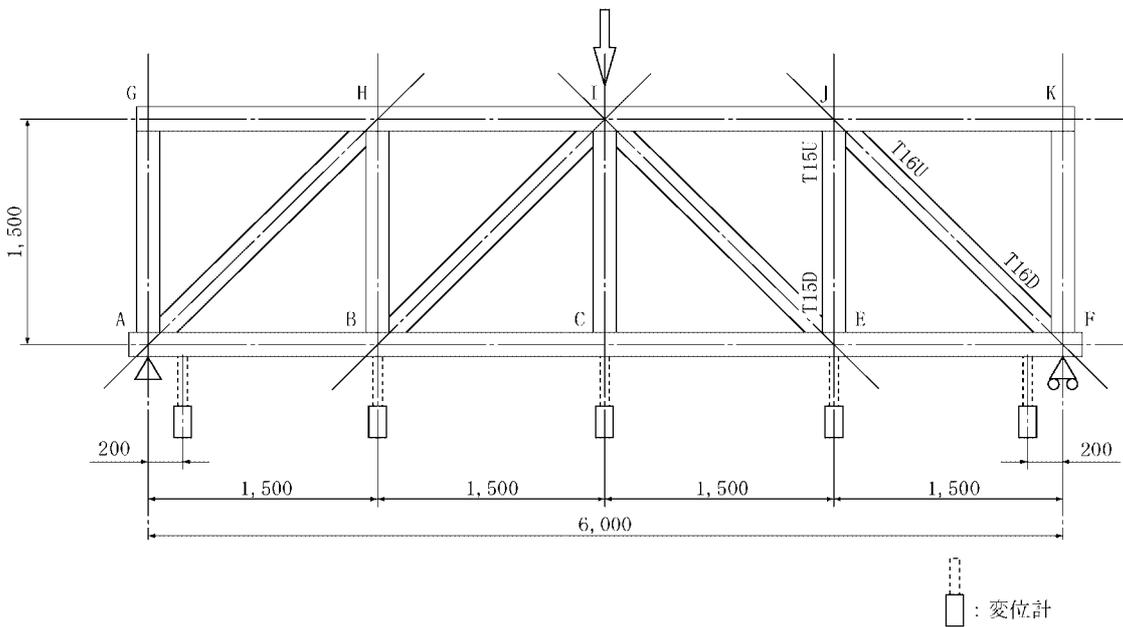


図 - 付 7.2 トラスパネル試験試験体

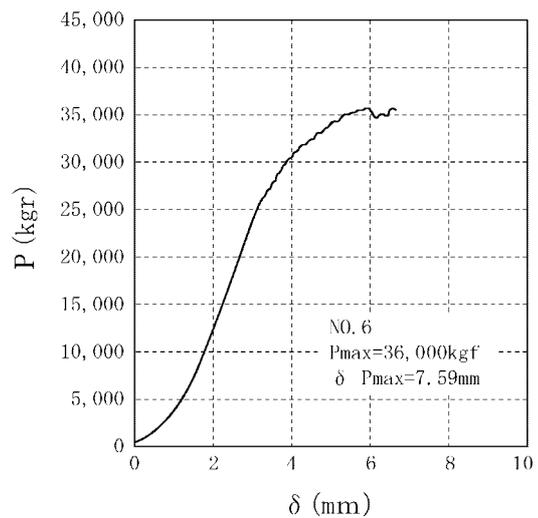
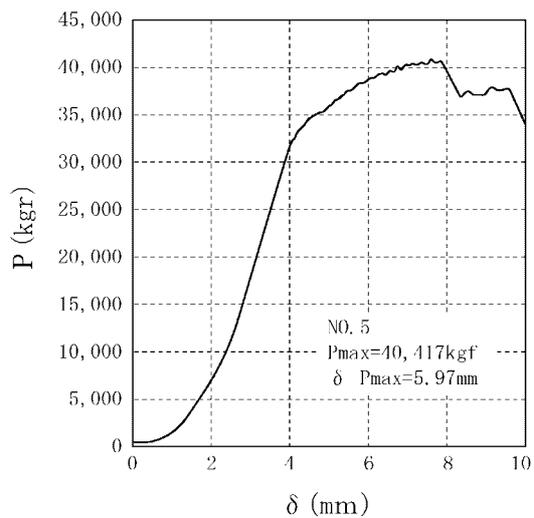
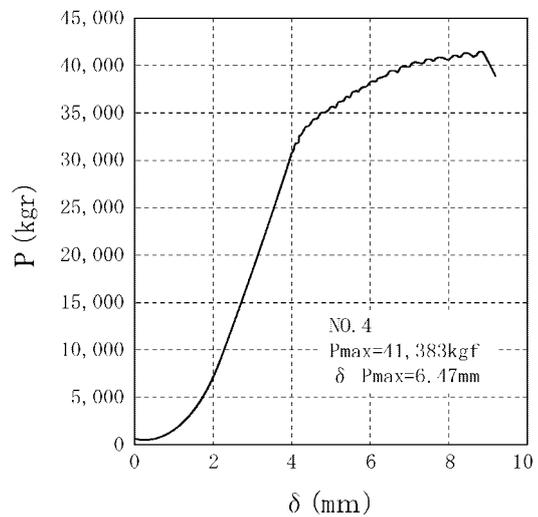
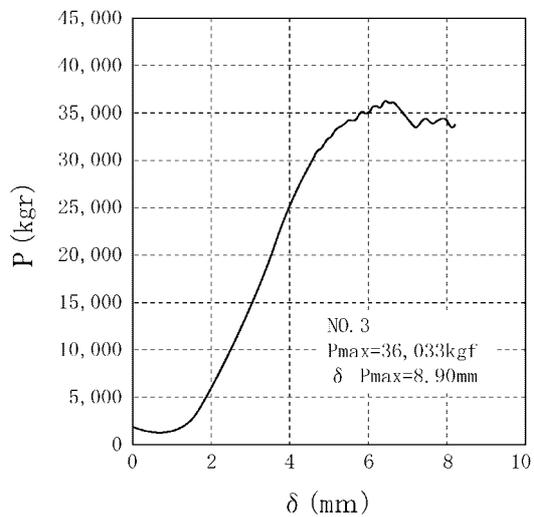
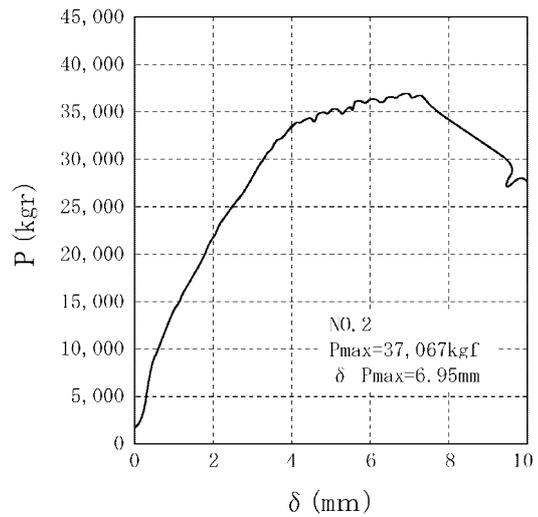
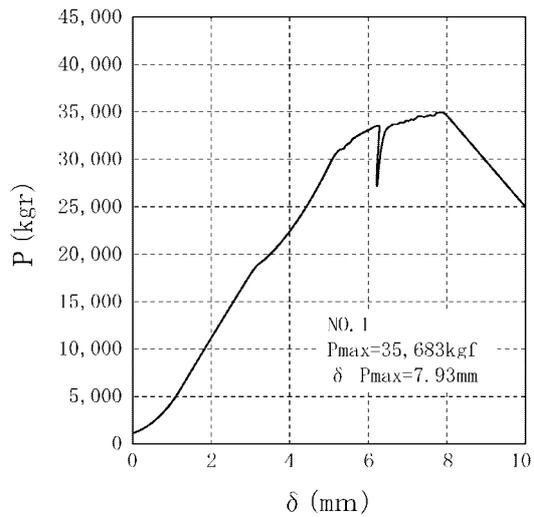


図 - 付 7.3 引張ユニット試験 荷重 - 変位曲線

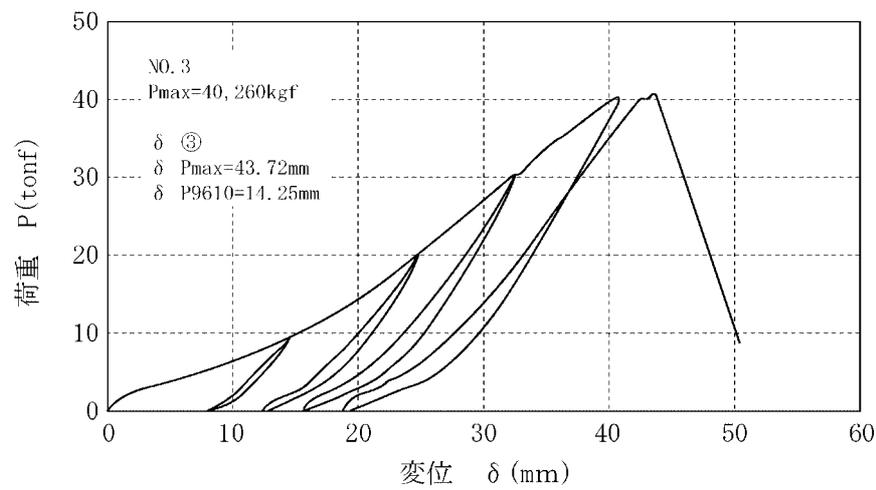
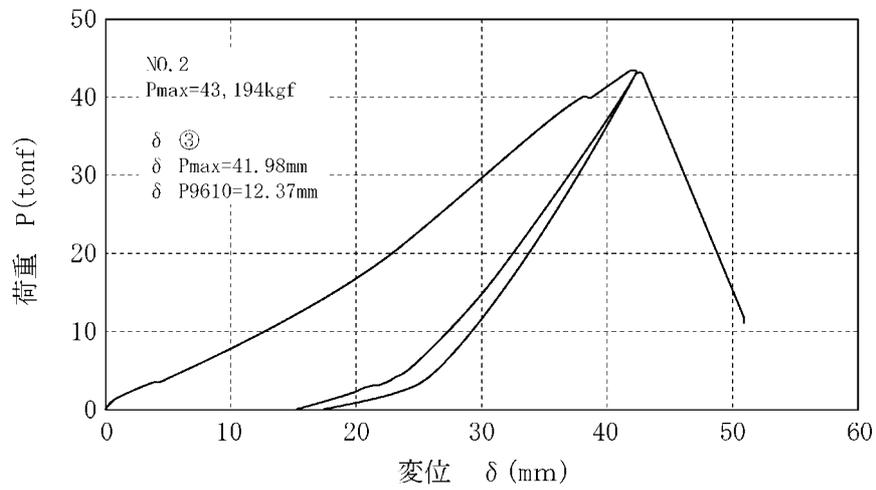
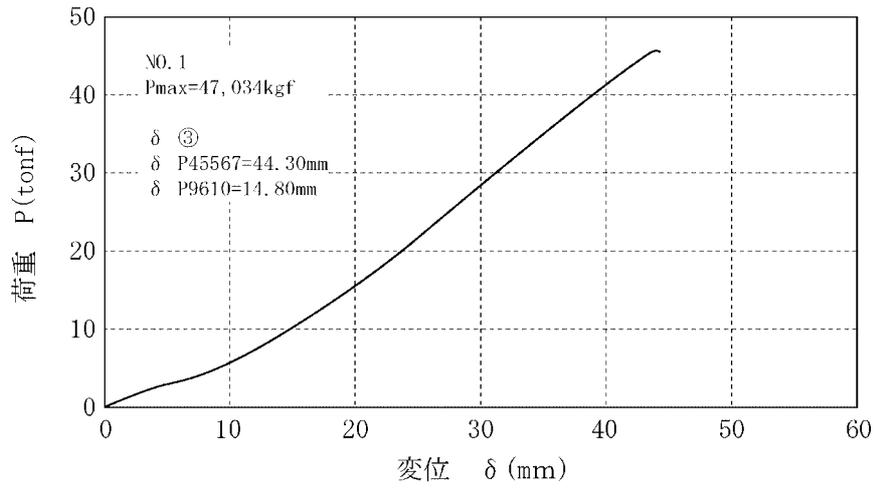


図 - 付 7.4 トランスパネル試験 荷重 - 変位 (中央) 曲線

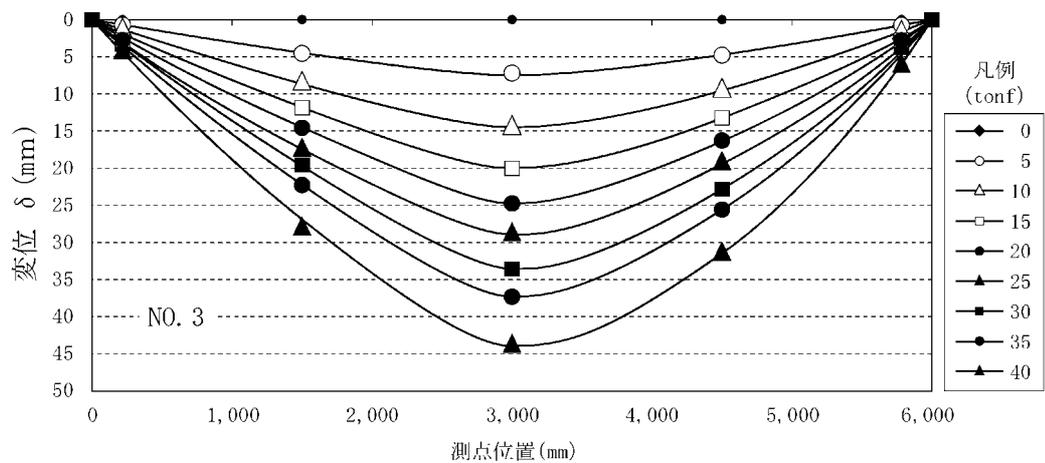
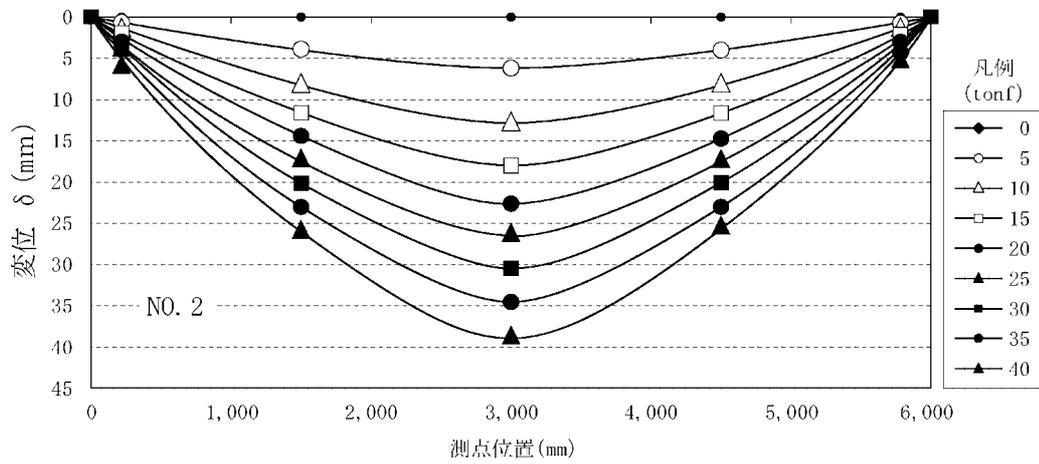
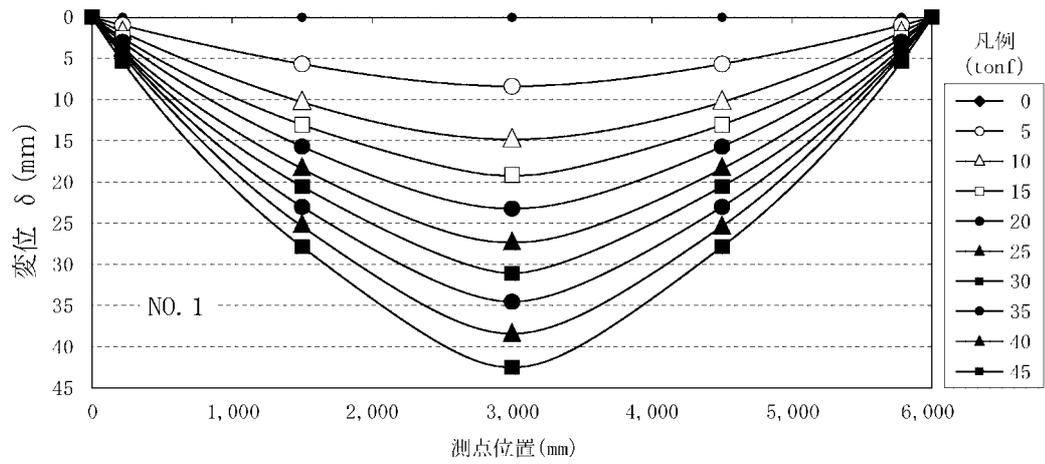


図 - 付 7.5 トランスパネル試験 たわみ変形図

検討課題一覧

試験 No	項目	今後の検討課題
試験 1	・加工、架設時の注意点	・継手の長期安定性の向上を図るため、接合具と木材間のあそびを少なくする方法の考察と、加工精度を上げるための加工計画層加工技術の向上が望まれる。
試験 2	・架設計画と架設時の注意点	・圧縮荷重を受ける接合部では偏芯荷重や軸芯不一致による二次応力を生じないように架設計画時に配慮し、施工をすることが重要である。
	・研究課題	・集成材に取り付ける開き止めボルトの鋼板の座屈止めに対する効果を確認したい。
試験 3	・研究課題	・初期がたによる初期スリップと加工精度の関係を明らかにする。
試験 4	・設計時の注意点	・湾曲材に曲げモーメントが生じる場合の最外層の引張に対する十分な検討と半径方向に生ずる応力に対し十分注意する必要がある。
試験 5	・工場制作時の注意点	・幅広の接着面に対する圧縮を行う場合の品質管理に対し注意しなければいけない。
試験 6	・研究課題	・エッキ材を使用した場合は現在の基準より短い間隔での接合部の端距離、縁距離の設定が可能といえ、そのためには実験による実績を積む必要がある。
試験 7	・研究課題	・実験で得られたすべり剛性は解説文中の計算式で得られる値の 1 / 4 程度の値となった。その原因について追及しておく必要がある。
	・設計時の注意点	・トラスの核点の設定をどう仮定するか、今後の曲げ回転剛性の実験結果などを踏まえ考察していく必要がある。

参考資料 点検・管理

目 次

	頁
1. 概要	参- 1
1.1 点検の目的	参- 1
1.2 点検の基本フレーム	参- 2
1.3 木橋特有の点検事項	参- 3
1.4 点検手法と内容	参- 6
1.5 点検の種類	参- 7
1.6 橋梁別点検計画の作成	参- 8
1.7 点検結果の記録	参- 9
1.8 点検後の対策	参- 9
2. 日常点検	参-10
2.1 目的	参-10
2.2 点検者	参-10
2.3 携行する器具	参-10
2.4 点検の方法	参-10
2.5 結果に対する評価	参-10
3. 定期点検	参-16
3.1 目的	参-16
3.2 点検者	参-16
3.3 携行する器具	参-16
3.4 点検の方法	参-16
3.5 結果に対する評価	参-17
4. 総合（詳細）点検	参-21
4.1 目的	参-21
4.2 点検者	参-21
4.3 携行する器具	参-21
4.4 点検の方法	参-24
4.5 結果に対する評価	参-24

添付資料 1：モデル木橋定期点検記録例

添付資料 2：点検器具の種類や腐朽の発生メカニズム等

1. 概要

1.1 点検の目的

木橋では、木造建築物とは異なり、木材が直接風雨に曝されることとなる。木材は天然の有機物であり、風雨の影響により腐朽や蟻害・紫外線による劣化が発生し、その程度や進行度合いは、樹種や周辺環境等により大きく異なってくる。本ハンドブックの設計・施工編「第7章 防腐耐久設計」においては、設計・施工段階で考慮できる耐久性向上策として、防腐処理や樹種の選択、水仕舞等について記述している。

しかしながら、耐久性を向上させるには、設計・施工段階での配慮だけでなく、供用後の適切な点検管理が重要となる。木橋の管理にあたっては、適切な耐用年数を設定するとともに、管理に対する概念を明確にしておく必要がある。わが国の伝統的な木橋である錦帯橋においては、維持管理に対する計画が示されており、40年～50年で架け替えを行い、その間は、随時、軽微な維持補修を部分的に行うこととされている。写真-1は平成13～15年度に実施されている架け替え工事の状況である。

集成材を使用する近代木橋の歴史は未だ20年程度であり、点検管理のデータが不足しており、点検管理の手法が確立されていないのが現状である。今後、点検データを記録・管理・評価・分析することにより、現在明確になっていない木橋の劣化の経年変化等が解明されれば、今後、木橋はより一層発展すると考えられる。

本編では、木橋（近代木橋）の維持管理のうち、特に重要となる“点検”に関して述べる。しかし、点検結果による判断は、専門的な知識と総合的な点検が必要となる。従って、管理者は日常点検を行い、問題点や疑問点が発生した場合専門家に相談することを基本方針として作成した。

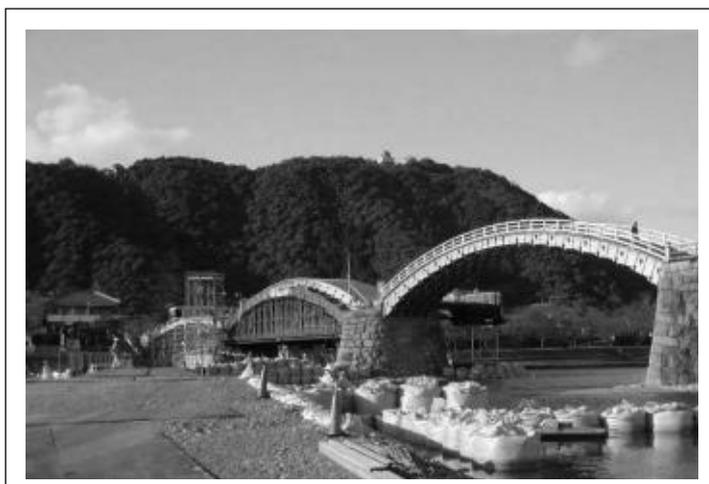


写真 - 1 錦帯橋平成の架け替え

1.2 点検の基本フレーム

木橋の管理の基本的な考え方のフレームを図 1 に示す。

木橋は一般に耐久性が劣ると考えられているが、適切な維持管理がなされれば鋼橋やコンクリート橋と同等の耐用年数を期待することができる。しかし、木材という自然素材を用いる以上、その経年的劣化は避けられないものがある。長期の供用を期待するためには適切な総合的な管理計画に基づく、ライフサイクルマネジメント（維持管理）は必要不可欠である。

適切な維持管理のためには現橋に対する的確な現状把握と点検記録の収集と保存が貴重なデータとなる。そしてそのためには的確な点検が定期的になされ、それらの記録が保管・管理されていることが重要となる。

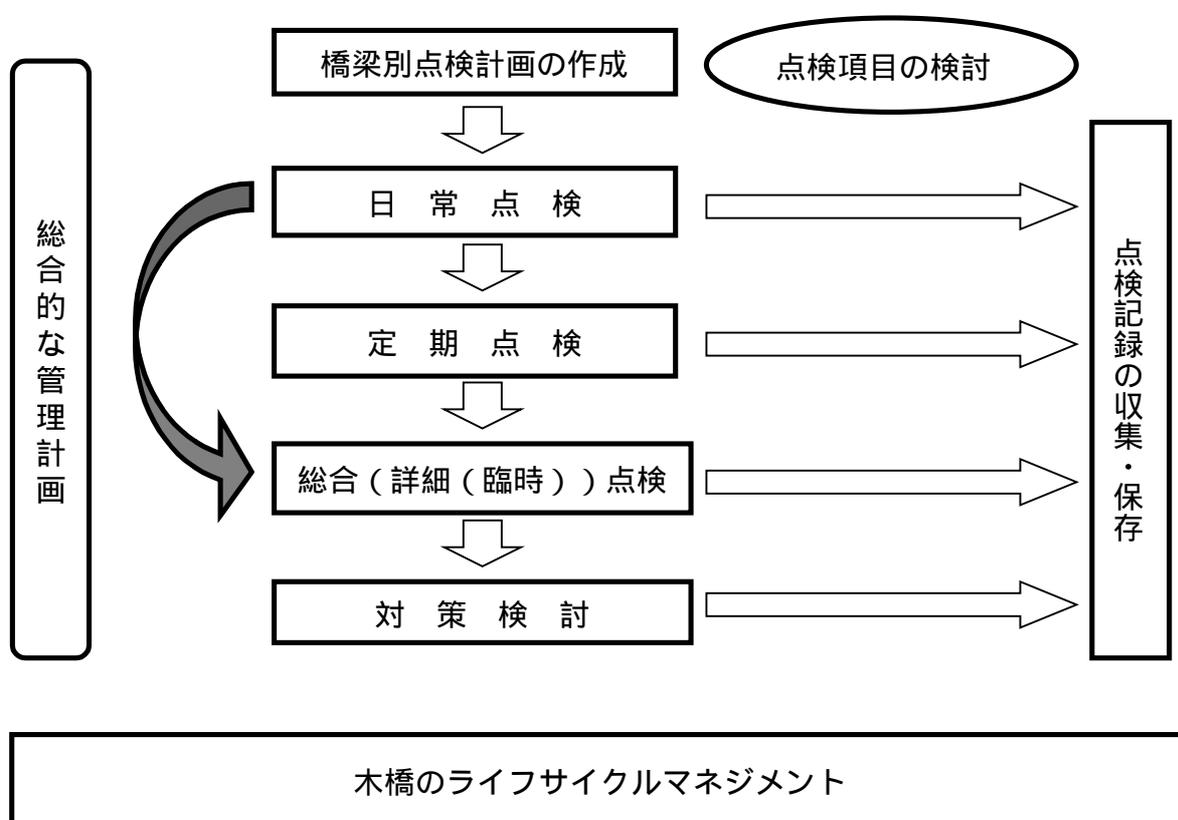


図 - 1 木橋の管理の基本的なフレーム

1.3 木橋特有の点検事項

木橋の点検の基本的な考え方は、鋼橋および PC 橋に準ずるが、木橋特有の点検事項について、その留意事項を以下に示す。

(1) 接合部

木橋は鋼橋と同様、架設条件や輸送条件等により、現場での接合が発生する。写真 - 2 はアーチリブの接合部である。近代木橋の接合部は母材が木材で挿入板や連結板が鋼板の異種材料で構成されることが一般的であり、その代表的な接合方法は、写真 - 3 に示す鋼板挿入型の構造が主である。接合部が木橋においては最も構造上の弱点となりやすい。



写真 - 2 接合構造の例

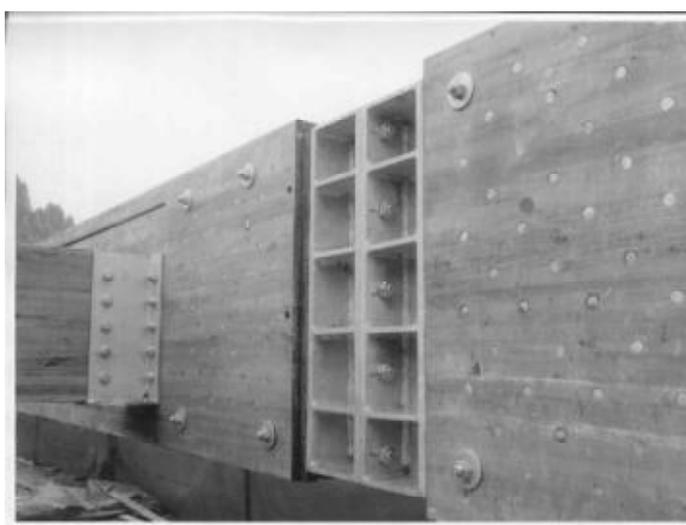


写真 - 3 接合構造形式の例

(2) 腐朽

木材は腐朽による劣化に注意しなければならない。腐朽は木材腐朽菌の生物活動により発生するものであり、腐朽菌の活動は湿温度・水分・酸素・栄養分の条件が必要となる。このため、腐朽菌は雨水や泥等が溜まりやすく乾燥しにくい箇所では活動が活発になる。なお、腐朽に関する詳細については、添付資料2「2. 腐朽発生のメカニズム」を参照されたい。

木橋の腐朽で特に注意を要する箇所は、構造により異なるが、一般的には、主桁と床板の接触面、主桁（部材）の接合部、高欄の取り付け部である。また、架橋条件で日陰となりやすい部分や、河川や池などの上にある場合は、特に注意が必要となる。写真 - 4 は高欄の腐朽状態を示したものである。

木材を腐朽させる微生物は、バクテリア類、カビ類、軟腐朽菌類、木材腐朽菌類がある。中でも木材腐朽菌類による腐朽が重要な問題となる。一般的に、木材腐朽菌類は木材表面に付着する白色もしくは褐色、黄白色の黴状、茸状の子実体の有無により存在が確認できるが、子実体は、腐朽そのものではなく、腐朽菌の胞子を形成する器官であるので、子実体が見られるということは、部材内部では腐朽が進行している可能性があるといえる。写真 - 5 に白色腐朽菌類を示す。なお、腐朽は高温多湿な夏季がピークとなるが、子実体は季節の変わり目に形成されることも認識しておく必要がある。



写真 4 高欄の腐朽



写真 - 5 白色腐朽菌類の子実体

通常の木材の場合、腐朽すると材表面に変色や軟化等の異常が現れるため、目視や打診、触診によって腐朽を知ることができる。しかしエッキ材（ボンゴシ）では腐朽が部材の内部から進み、この場合でも材表面は硬いままであるため、腐朽の判定は極めて難しい。

したがって、材表面に異常が見られない場合でも、変色していたり苔が生えていたりする等の異常が見られれば、内部の腐朽を疑うべきである。また、木材は濡れると、色が黒っぽくなる等材の色が濃くなるが、天候回復後も極端に乾燥が遅い部分についても腐朽の疑いがある。

さらに、腐朽により微量ながら酸が発生するため、ボルトやピン等の金属部品が錆びている部分についても注意する必要がある。



図 - 2 目視での劣化判断が容易な場合と困難な場合の比較

(3) 割れ

木材には乾燥することにより干割れと呼ばれる大小のひび割れが発生する。写真 - 6 は床版、写真 - 7 は笠木の干割れである。これらのひび割れは、一般的に強度に影響することは無いとされているが、利用者の怪我の原因となったり、雨水が進入滞留して腐朽への悪影響も考えられるので、注意する必要がある。



写真 - 6 床板の干割れ



写真 - 7 笠木の干割れ

1.4 点検手法と内容

木橋の点検手法とその内容を表-1に示す。点検には、目視、打診、触診のように簡易にできる手法と、特殊な用具・装置等を必要とする専門的な手法に大別される。なお、特殊な用具・装置については、添付資料2「1. 総合(詳細)点検における診断方法」を参照されたい。

表-1 点検手法とその内容

点検方法		内 容
簡単な診断方法	目視	異常な変色部分の有無、子実体(きのこ)や菌糸の付着の有無などの観察を行う。干割れ、塗装劣化、接着剥離などがあるか否かの判定、蟻害の兆候の判定、および構造安全性の観点から部材の著しいたわみ変形、接合部の割裂、めり込み、変形等が生じていないかを判定する。
	打診	腐朽している部分と明らかに健全な部分をハンマーで交互に叩き、音を聞き比べることによって腐朽部の判定を行う。
	触診	マイナスドライバーなどを突き刺し、その際の突き刺し易さを調査することにより、腐朽の有無を判定する。
特殊な用具・装置等を要する診断方法	含水率	ポータブルの含水率計により、木材表面の含水率を測定する。含水率が繊維飽和点(25~35%、平均28%)を超えていれば、腐朽の被害発生の可能性があると判断できる。
	超音波伝播速度	木製電柱の非破壊検査方法等に用いられている超音波伝播速度の測定により、腐朽部の発生を見極める。
	ピロディン	一定のバネ力で打ちこまれる針(直径2mm程度)の打ち込み深さを測定し、その打ち込み深さによって木材の健全度を評価する。
	ドリル穿孔	特殊形状のドリル・木ネジ等により穿孔したときの切削抵抗(トルク)を測定し(穿孔スラスト法、木ネジトルク法)または、ドリルで穿孔する際の切削屑を採取し、これを培養することによって腐朽菌が存在するか否かを確認する。
	色差測定	木材保護塗料の塗装色の変化を測定し、再塗装の時期の検討資料とする。
	載荷試験	橋の規模によっては小型の車両と携帯型の計測器で簡易的な載荷試験を行う。たわみの増加や異常な変形が生じないかも確認する。
	振動試験	携帯型の測定機を用いて、常時微動測定(橋に生じる微小な振動を測定)や自由振動試験を行い、振動特性(固有振動数や減衰定数)や使用性の評価を行う。

1.5 点検の種類

木橋の維持管理に伴う点検の種類を表 - 2 に示す。点検は日常点検、定期点検、総合（詳細）点検の3種類を基本とし、管理者は、木橋の使用目的、使用状況等を考慮し、計画的に実施することが望ましい。

表中に示した点検頻度はあくまでも目安であり、実際の点検間隔は木橋の状況に応じて設定することが望ましい。例えば供用後は頻度を低く設定し、数年後から頻度を高くする等の対応が考えられる。

点検においては点検管理データの記録・管理が重要であり、以後に実施される点検結果の比較資料とすることにより、橋梁の劣化判定のデータとなる。

なお、総合点検については、専門的な判断を要する内容となるので、木橋の専門家に依頼することが望ましい。

表 - 2 点検の種類と内容

点検の種類	点検者	点検の目的と内容
日常点検 （短期的・ 1回/月）	管理者	通常の巡回の際に、歩行者等の安全な通行に対する支障や構造材の劣化の兆候を確認するため、主として目視によりチェックするものである。
定期点検 （中期的・ 2回/年が望ましい）	管理者	日常点検の結果を総括するとともに、各構造材の劣化の兆候や進行状況を早期かつ的確に把握するため、主として目視、打診及び触診によりチェックするものである。
総合（詳細）点検	専門家	日常及び定期点検において、異常または疑わしい事項が発見された場合、日常点検や定期点検では点検できない部位の劣化の兆候や進行状況を把握する場合、機能維持や耐用年数向上等の検討のために必要となる詳細なデータ収集が必要な場合、または地震・台風・火災等の災害が発生した場合に行う総合的かつ詳細な点検。 専門家に依頼し、目視、打診及び触診のほか、特殊な用具、装置等を要する診断方法を適宜組み合わせる。

1.6 橋梁別点検計画の作成

木橋はその使用材料や構造形式、細部構造により劣化の進行や損傷のし易さが異なるので、設計、施工段階からライフサイクル全体を見据えた綿密な点検計画を策定しておく必要がある。

図 - 3 に、橋梁点検計画作成のための設計・施工の各段階において把握しておくことが望ましい情報を示す。

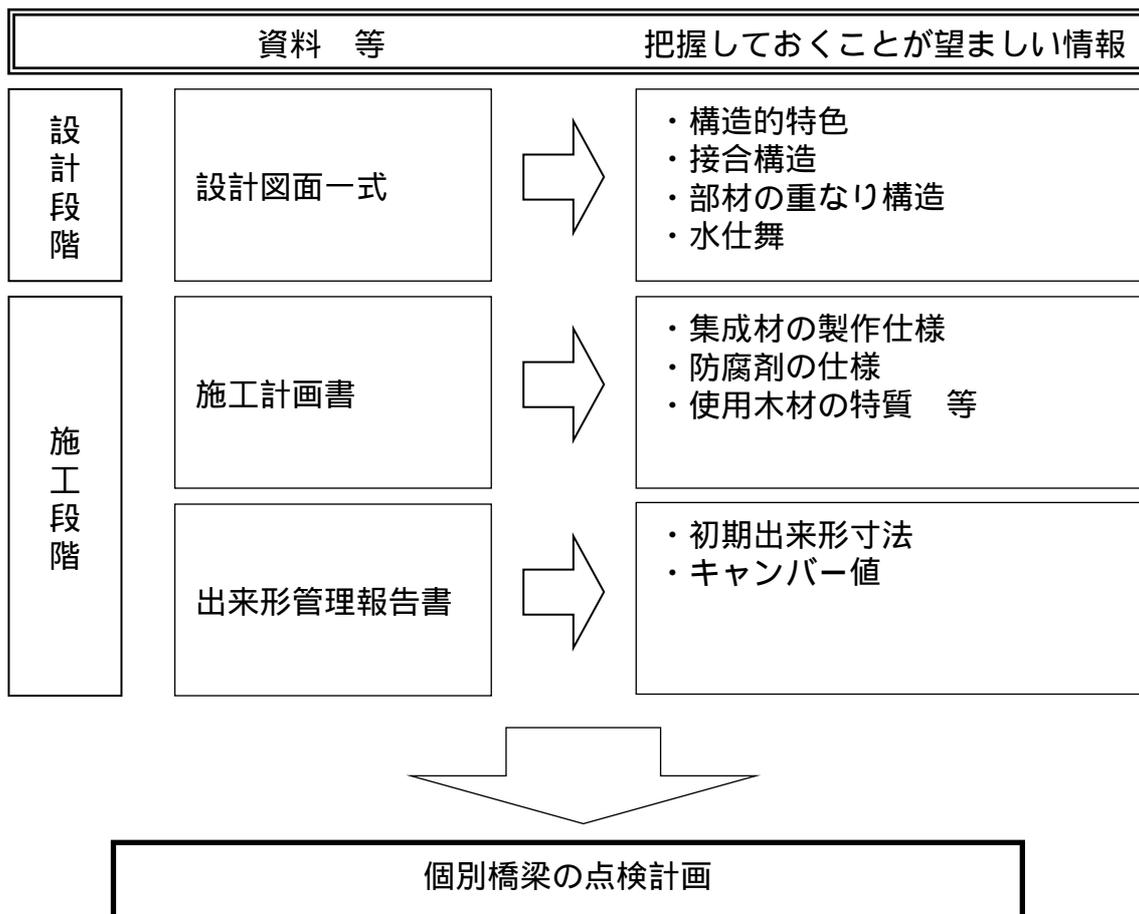


図 - 3 橋梁点検計画作成のフロー

1.7 点検結果の記録

日常点検・定期点検・総合（詳細）点検を実施した際は、原則として「点検報告書」として保存することとする。報告書は、点検計画へのフィードバックや劣化の進行度合いの判断基準として貴重な資料となる。

報告書の内容は

チェックシートや写真の記録

劣化の原因の考察

補修、補強の検討と対策法

等を記録しておくものとする。

1.8 点検後の対策

点検後健全度が損なわれている部材、あるいは放置しておくとも早期に支障をきたす可能性がある部材が発見された場合は、木橋は一般に維持管理は比較的容易であるので、専門化の助言を得つつ、早急に対策を講ずることが重要である。

また、対策を取った部材に関しては、要因を分析し構造上の問題点をチェックするとともに、日常点検や定期点検時に当該箇所を重点的に確認するようにしておく必要がある。

2. 日常点検

2.1 目的

日常点検は、各部材の劣化兆候や、歩行者等の安全通行に対する支障の有無の早期発見を目的に、原則として道路の日常巡回を行う際に併せて実施するものとする。

2.2 点検者

原則として、管理者が実施するものとする。点検に際しては専門的知識を必要としないが、点検記録の連続性を確保するためには同一点検者であることが望ましい。

2.3 携行する器具

チェックシート、カメラ、スケール

2.4 点検の方法

主要構造材の部位毎に、路面や橋の下面からの目視による点検を基本とする。

点検部位、方法ならびに項目は表 - 3 のとおりである。点検結果は日常点検用チェックシートの当該位置にその状況や発生場所を記録するとともに、必要に応じて写真撮影を行う。写真撮影に際しては、形状や寸法に係る記録を残す場合にはスケールを用いて寸法がわかるようにしておくことが望ましい。

2.5 結果に対する評価

点検記録の蓄積という観点で、劣化等の程度に関わらずあらゆる異常や気になる点について記録することが望ましい。劣化等の程度により補修の実施や、定期点検レベルの点検の実施を検討する。

表 - 3 日常点検における点検部位と項目

部 位	方 法	項 目
床 版	上面・路面から目視	・破損はないか ・危険な干割れやささくれはないか ・つまずきの原因となるような凹凸はないか
高 欄 地 覆		・破損はないか ・危険な干割れやささくれはないか
主 桁	下面等から目視	・著しくたわんでいると思われる箇所はないか ・接合部に異常は見られないか
その他		・横桁・対傾構・高欄取付部・橋台に異常はないか

日常点検チェックシート

点検年月日	年 月 日	天候		点検者名	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況	
床 版	路面から目視	破損はないか			
		危険な干割れやささくれはないか			
		つまずきの原因となるような凹凸はないか			
		その他			
高 欄 地 覆	路面から目視	破損はないか			
		危険な干割れやささくれはないか			
		その他			
主 桁	下面から目視	著しくたわんでいると思われる箇所はないか			
		接合部に異常は見られないか			
		その他			
その他	下面から目視	横 桁 対傾構 高欄取付部 橋 台			
	全般				

記入すべき事項があればチェック欄の にレを記し場所・程度・状況を記入すること

【事例】具体的な点検での状況例

モデル橋等での点検において発見された劣化の事例を以下に示す。劣化の状況判断は非常に困難であり点検者の個人差もある。状況の事例をあげるので判断時の参考とされたい。

床版



干割れが発生しているが、この程度では問題ない。
床板が黒っぽく変色しているが、この状況が、長期にわたると腐朽の心配がある。



干割れ、幅の拡大と変色の状況に不安がある。

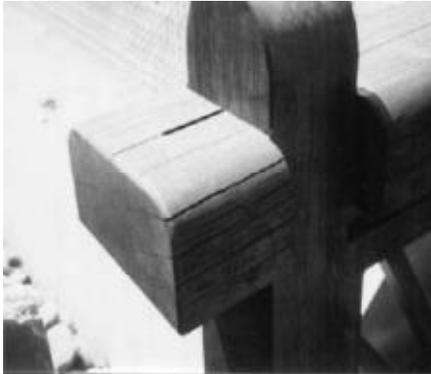


変色部分を打診にて確認している状況。
“ボコボコ”と湿ったような音が確認できれば、腐朽している可能性があり、要詳細確認。



集成材の床板のラミナ1層目までが、腐朽していた状況。
打診にて確認後、ピロディン、ピック等にて確認

高欄



高欄の干割れの状況。
構造上、強度上の問題はないが、この干割れから水と腐朽菌が進入する。また、利用者が怪我をする場合も有るので注意が必要。



同じく、笠木上面の干割れ。
材の性質、湿度、日当たり等の架橋状況により、発生や進行に違いが出る。



干割れというよりも、腐朽により傷んでしまった笠木。
ここまで来ると、笠木の取り替えが必要である。(モデル橋以外の事例)

地覆（モデル橋以外の劣化のひどい状況）



地覆の腐朽状況
かなり腐朽が進行している状況
である。何らかの対策が必要で
ある。



地覆の腐朽状況
白く見えるのが、子実体（腐朽
菌の菌糸）
かなり腐朽が進行。



集成材ラミナの間からキノ
コが顔を出しているのが確認
できる。



地覆で完全なキノコに育っ
ている。

その他 注意すべき部分



高欄笠木の上に設置された、
雨よけに発生している干割れ。

同様に、アーチリブ上に設定さ
れた雨よけ。一部干割れが
発生している。



同所の、はしごを使った点検
不安に思えたら、見えない部分の
確認も重要である。



これらは、本来は構造部材の耐久性を向上させるために設置されたもので
ある。しかし、これらに干割れが生じており、構造部材について更に詳細
な点検が必要と考えられる。

3 . 定期点検

3.1 目的

定期点検は、日常点検結果の総括や、劣化の兆候や進行状況を早期かつ的確に把握することを目的に実施するものとする。

3.2 点検者

原則として、管理者が実施するものとする。点検者には橋梁構造や木材の腐朽にある程度の知識を有していることが必要となる。

3.3 携行する器具

チェックシート、カメラ、スケール、ハンマー、マイナスドライバー、

3.4 点検の方法

梯子や点検車両を用い、主桁や橋脚等の主要構造材の各部位毎に主として目視、打診及び触診による機能診断や健全度診断を行うことを基本とする。

点検部位、方法ならびに項目は表 - 4 のとおりである。点検結果は定期点検用チェックシートの該当位置にその状況や発生場所を記入するとともに、必要に応じて写真撮影を行う。写真撮影に際しては、形状や寸法に係る記録を残す場合にはスケールを用いて寸法がわかるようにしておくことが望ましい。

また、表 - 5 は部位別ではなく全体的に点検・記録すべき項目である。このうち主桁接合部の写真撮影とは、橋の機能維持上重要であり弱点でもある主桁接合部の腐朽の進展予測や劣化度診断のための情報とするものであり、主桁の全ての接合部について真下および両側面から写真を撮影し整理しておくことが望ましい。

表 - 4 定期点検における点検部位と項目

部 位	方 法	項 目
高 欄	支柱頂部に 振動を加える	・がたつきはないか ・振動が大きかったりゆっくりではないか
床 版	床版支間中央を歩行	・不自然なたわみはないか
	打 診	・がたつきや不自然な打音（空洞音や低く鈍い音）は生じないか
主 桁	下面から目視	・接合部に開き等の異常はないか ・添接材および接合部付近の主桁に著しい割れは生じていないか ・部材の変色等の異常はないか
橋 脚 橋 台	目視・打診	・腐朽菌の繁殖・部材の変色などの異常はないか ・接合部に不具合はないか
その他	下面から目視	・横桁・対傾構・高欄取付部に異常はないか

表 - 5 定期点検における全体的な点検・記録項目

部 位	手 段	項 目
高 欄 地 覆 主桁外側面	目 視 写真撮影	・塗装の劣化状況の記録
全 体	目 視	・全体のたわみ等不自然な点はないか
主桁接合部	写真撮影	・接合部の状況を記録・監視

3.5 結果に対する評価

(1) 劣化の進行が著しい部位

過去の日常点検や定期点検結果を比較して、劣化の著しい部位がないかチェックする。その部位が構造的に重要な部分であれば、何らかの対策を検討することとする。

(2) 新たに劣化が確認された部位

新たに劣化が確認された部位については、その傾向を考察する。何らかの傾向が見られる場合は、対策を検討することとする。

(3) 全構造材について必要な機能を有しているか

すべての構造材が必要な機能を有しているか判定する。疑わしい場合はさらに詳しい試験や点検を行う。

以上の結果を踏まえて必要ならば補修・補強等の対策の検討を行う。なお、本点検の結果はそれまでに行われた日常点検の結果とあわせて綴っておくとよい。

定期点検チェックシート (1/3)

点検年月日	年 月 日	天候	点検者名	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況
高 欄	支柱頂部に振動を加える	がたつきはないか		
		振動が大きかったりゆっくりではないか		
	その他			
床 版	床版支間中央を歩行	不自然なたわみはないか		
	打 診	がたつきや不自然な打音（空洞音や低く鈍い音）は生じないか		
	その他			
主 桁	下面から目視	接合部に開き等の異常はないか		
		添接材および接合部付近の主桁に著しい割れは生じていないか		
		部材の変色等の異常はないか		
	その他			

記入すべき事項があればチェック欄の を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (2/3)

点検年月日	年 月 日	天候		点検者名	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況	
橋脚 橋台製 ()	目視・打診	腐朽菌の繁殖・部材の変色などの異常はないか	□		
		接合部に不具合はないか	□		
	その他		□		
横桁 対傾構 高欄取付部	下面から目視	取り付け部や部材に異常はないか	□		
	その他		□		
高欄 地覆 主桁外側面	目視 写真撮影	塗装の劣化状況の記録	□		
	その他		□		
全 体	目 視	全体のたわみ等不自然な点はないか	□		
	その他		□		

記入すべき事項があればチェック欄の □ を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (3/3)

留意点等の記録

点検年月日	年 月 日	天候		点検者名	
箇所 等	コメント・申し渡し事項		記録写真・スケッチ 等		

4 . 総合（詳細）点検

4.1 目的

総合（詳細）点検は、日常点検において、異常または疑わしい事項が発見された場合の確認、日常点検や定期点検では点検できない部位の劣化の兆候や進行状況の把握、機能維持や耐用年数向上等の検討のため必要となる詳細なデータ収集、または、地震・台風・火災等の災害が発生した場合の状況確認等を目的に実施するものである。

4.2 点検者

総合（詳細）点検は、原則として専門家に依頼するものとする。点検者は橋梁構造や木材の腐朽に関する知識を有していることが必要となる。

4.3 携行する器具

チェックシート、カメラ、スケール、ハンマー、
その他状況に合わせて、以下の機材

【木材腐朽深度測定装置】



【含水率計（抵抗式）】



【隙間ゲージ】



【ピック（マイナスドライバー）】



【 超音波診断器 】



4.4 点検の方法

まず、全体を把握するために各部位毎に目視、打診及び触診による健全度診断を行う。点検部位は、

健全度が損なわれている部位

放置しておくとも早期に支障をきたす可能性がある部位

現時点では直ちに支障をきたすものではないが、近い将来、劣化が進行して、支障をきたす可能性のある部位

を調査する。点検項目については、基本的には表 - 4 に示した定期点検と同様であるが、原則として足場や点検車を利用し、より大規模で詳細の点検を行うことになるので、原則として専門家に依頼するものとする。管理者は、点検内容等について事前に専門家と十分な打ち合わせを行う必要がある。

以下にいくつかの注意点を記す。

腐朽の進行状況と部材の劣化度を的確に把握する。部材が重なった部分は一様に腐朽の弱点であることから、必要に応じて部材を取り外す等して点検を行うことも検討する。

主桁については入念な点検がなされるべきである。特に、主桁接合部は構造上重要であり、弱点でもあることに留意する。

全体的な挙動ならびに健全度を検証するため載荷試験を行うことも有効な手法である。定期的に載荷試験を行い過去の結果との比較・検証を行えば、より効果的である。

4.5 結果に対する評価

(1) 劣化の進行が著しい部位

過去の日常点検や定期点検結果、総合（詳細）点検結果を検証して、劣化の著しい部位がないかチェックする。その部位が構造的に重要な部分であれば、何らかの対策を検討することとする。

(2) 新たに劣化が確認された部位

新たに劣化が確認された部位については、その傾向を考察する。何らかの傾向が見られる場合、対策を検討することとする。

(3) 全体

橋梁全体として必要な機能を維持しているか判定する。疑わしい場合はさらに詳しい試験や点検を行う。

以上の結果を踏まえて必要ならば補修・補強等の対策の検討を行う。なお、本点検の結果はそれまでに行われた日常点検や定期点検の結果とあわせて綴っておくとよい。

総合（詳細）点検において、異常が発見された場合は、部位、場所と異常の状況等について詳細点検報告書に記述し、保存しておく。

モデル木橋定期点検記録例

鹿児島県串木野市

徐福橋・仙人橋

定期点検チェックシート (1/3)

点検年月日	2002年10月17日		天候	晴れ		点検者名	木橋技術協会	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況				
高欄	支柱頂部に振動を加える	がたつきはないか						
		振動が大きかったりゆっくりではないか						
	その他			<ul style="list-style-type: none"> ・高欄塗装の脱色 ・干割れが目立つ 				
床版	床版支間中央を歩行	不自然なたわみはないか						
	打診	がたつきや不自然な打音(空洞音や低く鈍い音)は生じないか		<ul style="list-style-type: none"> ・部分的に腐朽が見られる 				
	その他			<ul style="list-style-type: none"> ・目地材の変形、脱離 ・再塗装の必要有りと判断される 				
主桁	下面から目視	接合部に開き等の異常はないか						
		添接材および接合部付近の主桁に著しい割れは生じていないか						
		部材の変色等の異常はないか		<ul style="list-style-type: none"> ・塗装の脱色が見られるが、構造上の問題はない 				
	その他							

記入すべき事項があればチェック欄の を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (2/3)

点検年月日	2002年10月17日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況	
橋脚 橋台製 ()	目視・打診	腐朽菌の繁殖・部材の変色などの異常はないか	<input type="checkbox"/>		
		接合部に不具合はないか	<input type="checkbox"/>		
	その他		<input type="checkbox"/>		
横桁 対傾構 高欄取付部	下面から目視	取り付け部や部材に異常はないか	<input type="checkbox"/>		
	その他		<input type="checkbox"/>		
高欄 地覆 主桁外側面	目視 写真撮影	塗装の劣化状況の記録	<input type="checkbox"/>		
	その他		<input type="checkbox"/>		
全 体	目 視	全体のたわみ等不自然な点はないか	<input type="checkbox"/>		
	その他		<input type="checkbox"/>		

記入すべき事項があればチェック欄の を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (3/3)

留意点等の記録

点検年月日	2002年10月17日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
箇所等	コメント・申し渡し事項			記録写真・スケッチ等	
アーチリブ	<p>アーチリブ上面の保護板は、板厚が薄い ため変形等が見える。 アーチリブ本体とこの板との接触面を 総合点検時に点検する必要がある。</p>				
床版	<p>本橋の床版は、サザンイエローパイン材 を使用しており、含水性が非常に高い。 また、架橋位置が山の陰に当たるため に、日当たりが悪く、部材が乾燥しにく い位置である。このため、部分的腐朽の 進行が見られる。構造的に早急に問題で はないが、対策を検討する必要がある。</p>				
吊材のキャップ の水抜き	<p>吊材ロッドの定着部のキャップに雨水 の留まりが見られる。 水抜き孔等の必要性がある。</p>				



徐福橋全景



アーチ部



側面



床版下側の史実体



床版の腐朽



仙人橋全景



目地シーリング材腐朽



床版腐朽深度調査



床版の腐朽

大分県竹田土木事務所

神馬の橋太郎

定期点検チェックシート (1/3)

点検年月日	2002年10月24日		天候	晴れ		点検者名	木橋技術協会	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況				
高欄	支柱頂部に振動を加える	がたつきはないか						
		振動が大きかったりゆっくりではないか						
	その他			<ul style="list-style-type: none"> ・高欄塗装の退色 ・干割れがある(1~2mm) ・常時日陰となる部分にカビ発生 ・笠木は塗膜劣化 				
床版	床版支間中央を歩行	不自然なたわみはないか						
	打診	がたつきや不自然な打音(空洞音や低く鈍い音)は生じないか		<ul style="list-style-type: none"> ・部分的に軟化がみられる。 				
	その他							
主桁	下面から目視	接合部に開き等の異常はないか						
		添接材および接合部付近の主桁に著しい割れは生じていないか						
		部材の変色等の異常はないか		<ul style="list-style-type: none"> ・塗装の脱色が見られるが、構造上の問題は無い 				
	その他							

記入すべき事項があればチェック欄の を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (2/3)

点検年月日	2002年10月24日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況	
橋脚 橋台製 ()	目視・打診	腐朽菌の繁殖・部材の変色などの異常はないか	□		
		接合部に不具合はないか	□		
	その他				
横桁 対傾構 高欄取付部	下面から目視	取り付け部や部材に異常はないか	□		
	その他				
高欄 地覆 主桁外側面	目視 写真撮影	塗装の劣化状況の記録	□		
	その他				
全 体	目 視	全体のたわみ等不自然な点はないか	□		
	その他				

記入すべき事項があればチェック欄の □ を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (3/3)

留意点等の記録

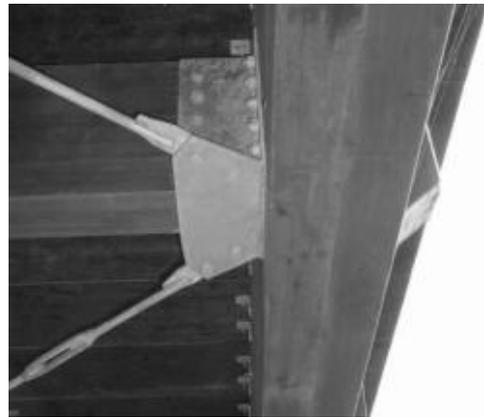
点検年月日	2002年10月24日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
箇所等	コメント・申し渡し事項		記録写真・スケッチ等		
床版	一部変色、軟化が見られる。日常点検での要経過観測。				
床版	本橋の床版は、サザンイエローパイン材を使用しており、含水性が非常に高い。また、架橋位置が山の陰に当たるために、日当たりが悪く、部材が乾燥しにくい位置である。このため、部分的腐朽の進行が見られる。構造的に早急に問題ではないが、対策を検討する必要がある。				
塗装	塗装の劣化および、一部カビの発生が見られる。対処の検討も必要である。				



神馬の橋太郎全景（南面）



床裏



主桁・床桁接合部



方杖脚部



主桁側面ひび割れ



神馬の橋太郎全景（北面・車両衝突面）



車両衝突後の方杖補修



高欄笠置の割れ



床板の割れ・軟化



高欄支柱脚部・地覆 カビ

高知県梼原町

六根の橋

定期点検チェックシート (1/3)

点検年月日	2002年11月7日		天候	晴れ		点検者名	木橋技術協会	
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況				
高欄	支柱頂部に振動を加える	がたつきはないか						
		振動が大きかったりゆっくりではないか						
	その他			・笠木の覆い板に割れがあり、進入した水が笠木を腐食させる可能性有り				
床版	床版支間中央を歩行	不自然なたわみはないか						
	打診	がたつきや不自然な打音(空洞音や低く鈍い音)は生じないか						
	その他			・床板が反り返っている。部材交換時には構造検討の必要有り				
主桁	下面から目視	接合部に開き等の異常はないか						
		添接材および接合部付近の主桁に著しい割れは生じていないか						
		部材の変色等の異常はないか		・塗装の脱色が見られるが、構造上の問題は無い				
	その他							

記入すべき事項があればチェック欄の を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (2/3)

点検年月日	2002年11月7日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
部位	手段	項目	Check	場所・程度・状況	
橋脚 橋台製 ()	目視・打診	腐朽菌の繁殖・部材の変色などの異常はないか	□		
		接合部に不具合はないか	□		
	その他		□		
横桁 対傾構 高欄取付部	下面から目視	取り付け部や部材に異常はないか	□		
	その他		□		
高欄 地覆 主桁外側面	目視 写真撮影	塗装の劣化状況の記録	□		
	その他		□		
全 体	目 視	全体のたわみ等不自然な点はないか	□	・構造上問題はないが、製作キャンバーが強すぎたためか、残留キャンバーがきつい	
	その他		□		

記入すべき事項があればチェック欄の □ を塗りつぶし場所・程度・状況を記入すること

定期点検チェックシート (3/3)

留意点等の記録

点検年月日	2002年11月7日	天候	晴れ	点検者名	木橋技術協会
箇所等	コメント・申し渡し事項		記録写真・スケッチ等		
高欄笠木覆い	笠木上面の保護板に、割れが見える。進入した水が笠木本体を腐朽させる原因となるので、確認や部材交換の必要がある。				
床版	床版に割れ等はないが、カップゾリが出ており、利用者から不評である。部材交換時等には、構造検討が必要である。				
床組みのストラット部材	床組みのストラット部材の金具等に腐食の兆候が見られる。次回点検時には要確認。				



六根橋全景



笠木部の隙間



笠木の覆い板の割れ



桁の通直性



床板（割れはないが、少しカップ反り）



（定期的な点検ポイント） 床組みストラット部材の金具腐食

点検器具の種類や腐朽の発生メカニズム等

1. 総合（詳細）点検における診断方法

ここでは、専門家が行う総合（詳細）点検における、特殊な用具、装置等を用いて行う木材の健全度診断の方法および木橋の構造特性評価法について解説する。

1.1 特殊な用具、装置等を用いて行う木材の健全度診断の方法

1.1.1 含水率測定

木材の性能に大きな影響を与える生物劣化を防ぐためには、材の含水状態を管理する必要がある。含水率測定にはポータブル型の含水率計が適当である。高周波式と電気抵抗式があり測定方式により測定値に制限があるが、木材表面付近の含水率を簡便に測定することができる。含水率が繊維飽和点(25～35%、平均28%)を越えていれば、腐朽の被害発生ないし腐朽進行中の恐れがあると判断する。



写真1 電気抵抗式含水率計



写真2 高周波式含水率計

1.1.2 超音波伝播速度・振動周波数測定

超音波伝播速度の測定は木製電柱の非破壊検査方法などに用いられる方法である。市販されている測定機（写真3）の多くは木材中を伝わる超音波の伝達時間を測定するタイプのもので、センサー間の距離を計測された伝播時間で除して伝播速度を求める。定期的な測定を行うことで、腐朽の発生を推定することが可能である。その他の非破壊検査として、部材を打撃し振動周波数を測定する方法なども挙げられる。この振動周波数を用いる方法では部材の拘束条件や材質のバラツキによる影響を受けるため、超音波の場合と同様に定期的な測定を行い、初期値の測定に対しての変化を観察するのがより確実である。

超音波伝播速度の測定は木製電柱の非破壊検査方法などに用いられていた方法である。市販されている測定機の多くは木材中を伝わる超音波の伝達時間を測定するタイプのもので、センサー間の距離を計測された伝播時間で除して伝播速度を求める。定期的な測定を行うことで、腐朽の発生を推定することが可能である。その他の非破壊検査として、部材を打撃し振動周波数を測定する方法なども挙げられる。この振動周波数を用いる方法では部材の拘束条件や材質のバラツキによる影響を受けるため、超音波の場合と同様に定期的な測定を行い、初期値の測定に対しての変化を観察するのがより確実である。



写真3 超音波伝播速度測定

1.1.3 打ち込み深さ測定

多少の破壊を伴う検査方法としてピロディンによる測定がある。ピロディンは、一定のバネ力で打ち込まれる針（直径2mm程度）の打ち込み深さを測定する機器で、その打ち込み深さによって木材の健全度が予測できる。表面からの打ち込み深さを測るという特性上、内部腐朽のみが進行している場合の測定には不適當であるが、表面から劣化が進んでいる場合の二次元的測定を行うのには適している。



写真4 ピロディン(pilodyn)

1.1.4 ドリル穿孔

破壊型の検査方法としては、ドリルを用いた方法がある。特殊形状のドリル・木ねじ等により穿孔したときの切削抵抗（トルク）を測定する方法であり、穿孔スラスト法、木ねじトルク法とも呼ばれる。材内部の劣化の程度や広がりを測定するのに適しており、抵抗レベルをチャート紙に印字するタイプの、簡易な測定装置も市販されている。ドリルを使う方法では、穿孔する際の切削屑を採取し、これを特殊な環境条件で培養することによって腐朽菌が存在するか否かを明らかにすることができる。腐朽菌の同定や腐朽範囲を細かく推定することが可能であるが、腐朽菌の同定にはより専門的な知識が必要となる。なお、これらの点検で生じたドリル孔等は防腐処理した木栓で埋木する。

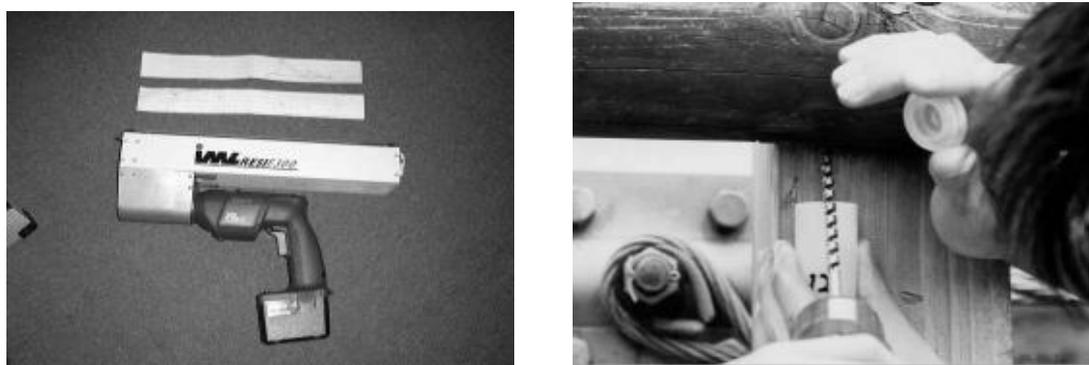


写真5 レジストグラフ

1.1.5 色差測定

紫外線や風雨に曝される木橋の耐候性を向上させるためには、木材保護塗装が有効である。とくに、架設後の再塗装は耐久性向上の観点からも重要であり、適切な時期に行わなければならない。木材保護塗装の耐候性は環境条件によっても異なるが、通常2～5年程度であると言われている。塗装色の変化を簡便に測定するには色彩計（色差計）を用いる。ポータブルタイプの色差計により定期的に測定を行うことで、塗料の劣化状態を、色差を用いて定量化することができる。また、再塗装の時期を検討する上でも有益なデータとなる。



写真6 色差計

1.1.6 その他の道具を用いた診断

これらの道具は、目視点検時に携帯しているとより、有効な診断ができる。この他、ハンマー等も打診検査を行うのに有効である。



写真7 クラックスケール



写真8 ピック

1.2 木橋の構造特性評価法

1.2.1 載荷試験

橋梁としての構造性能を評価する方法としては、荷重を載せたときのたわみを測定する載荷試験を行う方法もある。完成直後の初期値を測定し、かつ定期的な測定を行うことで、たわみの増加や異常な変形を検出する方法である。

1.2.2 振動試験

構造特性を評価するもう一つの方法として振動試験がある。橋に生じる微少な振動を測定することによって、橋の固有振動数を求める常時微動測定等は携帯型の測定装置で比較的簡易に実施でき、定期点検や詳細点検においても有効である。載荷試験と同様の試験車を用いた振動試験では、より詳細な動的特性の評価が可能となる。この場合にも完成直後に試験を実施することで、初期値データを収集しておくことが重要である。

以上のような、腐朽等の劣化の程度を測定する手法と、橋梁全体の構造を評価する方法は、木橋の健全度評価として考えられる手段であるが、いずれの検査、測定結果からも即座に健全度の判定を下せるものではなく、あくまでも完成後間もない初期状態に対する相対的な評価によって判断していくものである。

木橋の建設にあたっては、設計・施工段階からあらかじめ点検や補修を考慮した維持管理計画を検討しておき経年変化を年数を追って評価することが重要である。

2. 腐朽発生のメカニズム

ここでは、木橋の耐久性に、もっとも影響を与える木材腐朽について解説を加える。また、耐久性向上策である木材防腐および木材保護塗料についても解説する。

2.1 木材と腐朽

2.1.1 腐朽菌の種類

木材は細胞構造を持つ生物材料であり、その主要成分は炭水化物で構成されるセルロース、ヘミセルロース及びフェノール性成分で構成されるリグニンである。したがって自然状態では、微生物の適当な栄養源となり、各種の変質分解作用を受ける。“腐朽”とは木材劣化の中で最も大きく強度に影響を与える極めて重要な劣化現象である。この腐朽を引き起こすのは、“木材腐朽菌”と呼ばれる、キノコ類を主とする微生物である。木材を劣化させる微生物に関してまとめると表2.1.1のようになる。

表2.1.1 木材を劣化させる微生物とそれらが引き起こす劣化の特長

微生物	劣化の特徴
バクテリア類	主として土壌、水中等に用いている木材を攻撃するが、その分解作用はきわめて緩慢なため、材料強度上は殆ど問題とならない。
カビ（表面汚染菌、変色菌）類	木材表面や辺材部（いわゆる白太）を変色させる。強度的な影響は小さいが、衝撃強度を若干低下させる場合がある。
軟腐朽菌類	主として土壌、水中等に用いている木材を表面から腐朽させる。カビ類の一部が引き起こす腐朽である。スポンジ状に腐朽させるので、このような名前と呼ばれる。
木材腐朽菌類	担子菌の一群で、最も激しく木材を腐らせる。いわゆるキノコを作る。

この表で明らかなように“木材腐朽菌類”による腐れの被害は、耐久性確保上最も深刻な現象である。

木材腐朽菌類は、大別すると次の2種類となる。

() 褐色腐朽菌類

針葉樹を好むものが多く、木材を褐色に腐らせる菌類の総称で、セルロース、ヘミセルロースを分解しリグニンはほとんど分解しない。このリグニンが残るため、木材が褐色に変化する。

() 白色腐朽菌類

広葉樹を好むものが多く、木材を白色に腐らせる菌類の総称で、セルロース、ヘミセルロース、リグニンの全てを同程度、あるいはリグニンをやや優先的に分解する。このため、木材は白色となる。

2.1.2 腐朽の発生と進行

木材腐朽菌は表2.1.2に示すように、栄養分、水分、酸素、温湿度の4条件が揃うことで初めて腐朽が生じる。

したがって、木橋では木材が土に触れるところ、水がしみ込むところ、水が常にかかるところ、湿度が高いところ、風通しの悪いところが腐る危険に曝されることになる。

表2.1.2 木材腐朽菌の生育条件

条 件	摘 要
栄 養 分	木材の主要成分（セルロース、ヘミセルロース、リグニン）。およびデンプン、可溶性糖などの抽出成分。
水 分	木材の含水率として約20%以上*。
酸 素	生物として酸素（空気）は必須。
温 度	適温（5～40℃）。

* 理論的には繊維飽和点（約28%）とされるが、実験的には20%以上で、腐朽が生ずると考えておいたほうが安全である。なお、繊維飽和点とは、木材の細胞壁中に取り込まれている水分（結合水）が、飽和状態になることをいう。さらにこれを越えて細胞内腔に存在している水分には自由水と呼ばれる。

2.1.3 腐朽のメカニズム

腐朽は空気中や土壌中に存在する木材腐朽菌胞子が木材表面に付着し、生育条件が揃うことにより発芽して菌糸をのばしていくことに始まる。また、場合によっては、既に腐朽菌が侵入した木材上で生育条件が整うことにもよる。菌糸は細胞壁から直接、または細胞壁内腔へ侵入、壁孔を通過したり、細胞壁を貫通したりして内部へ侵入していく。この侵入過程で細胞壁を分解することにより、木材自身の重量減少（密度の低下）が生じる。

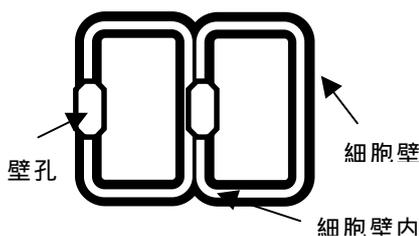


図 2.1.1 木材細胞の模式

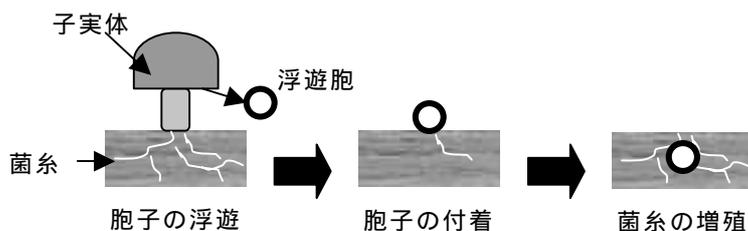


図 2.1.2 腐朽菌の繁殖

2.2 防腐処理

2.2.1 防腐処理の原理

木橋の耐久性を向上させるには、木材腐朽菌からどのように木材を防御するのが鍵となる。木造構築物の寿命は、木材が適切な、つまり腐朽しない条件に置かれれば数百年間にも及ぶと考えられる。このことは法隆寺などの例から容易に推察することができる。昔の人々は木材の性質をよく理解しており、適材適所にいろいろな木材を使い分けて木の文化を築き、構築物の寿命を延ばす工夫を行ってきた。近年では薬剤の開発と普及、および処理方法の発展により、木材を腐りにくくする方法が用いられる。特に、耐久性を求められるところに使用する木材は、薬剤の助けを借りて防腐処理を実施し、腐るという木材特有の欠点をカバーしている。この防腐処理の基本的な考え方は、薬効により木材腐朽菌の生育機能を阻害することで、殺菌、増殖防止を図ることにある。木橋に用いられる木材は野外で風雨に曝されるため、心材の耐朽性極大（野外で約7年以上の耐朽性）に区分される樹種が多い。しかしながら耐朽性が高い樹種であっても辺材は耐朽性が低く、心材の耐朽性も環境条件に左右されるため防腐処理を行わなければ比較的短期間で腐ることがあるため、防腐処理を必要とする。

2.2.2 防腐処理法

現在用いられている防腐処理法を大別すると表2.2.1に示すようにな4種類となる。実用的には、その構築物の要求耐用年数などや維持管理のしやすさなどを懸案して、いずれかの方法を選択することになる。

表2.2.1 防腐処理法の種類とその特徴

処理法	特 徴
塗布処理	処理範囲を自由に限定、随時繰り返し処理でき、かつ薬剤も少量で済む。手間がかかりムラが出来やすい欠点がある。
吹きつけ処理	広い面積を効率的に処理できる。 薬剤の無駄が多く、周辺の薬剤による汚染に配慮が必要である。
浸漬処理	手間なくムラなく大量に処理できる。 大量の薬剤が必要で、部分的な処理ができない。
加圧注入処理	密閉型の耐圧缶内で圧力をかけることで木材内部へ薬剤を浸透させることができる。この処理では他の方法より木材深く薬剤を浸透させることができるので最も信頼できる防腐処理ができる。 特別な装置が必要であり、現場処理ができないといった欠点がある。

2.2.3 防腐処理に関する性能基準

現在、防腐剤のみに限定して、その使用を規制する国の法律は無い。したがって、農薬や医薬品のような審査・認定制度はない。ただし、(社)日本木材保存協会(JWPA)、(社)日本しるあり対策協会が、木材保存剤としての有効性、安全性などに関して厳密な審査を行う、認定・登録制度を実施している。また、木材保存剤あるいは保存処理木材としての性能に関する規格や認証制度として、日本工業規格(JIS)、日本農林規格(JAS)、(社)日本木材保存協会規格、(社)日本しるあり対策協会規格、(財)日本住宅・木材技術センター優良木質建材等認証(AQ認証)がある。これらによって、適切な保存処理薬剤や製品などが流通するようになっている。以下に規格抜粋及び一覧を示す。

表2.2.2 A Q屋外製品部材浸潤度判定基準(切断の場合)
((財)日本住宅・木材技術センター)

区分	樹種	浸潤度
心材の耐朽性が 大のもの	ヒノキ、ヒバ、ケヤキ、クリ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、レッドウッド、バンキライ、バラウ、カプール、セラングンバツ	製材品：辺材部分の80%以上とする。 丸太：辺材部分の80%以上とする。
心材の耐朽性が 中のもの	スギ、カラマツ、クヌギ、ミズナラ、ベイマツ、ダフリカカラマツ、ライトレッドメランチ、イエロウメランチ、クルイン、ケンパス	製材品：辺材の80%以上、及び表面から10mm以内に存在する心材の80%以上とする。 丸太：辺材の80%以上、及び表面から10mm以内に存在する心材の80%以上とする。
心材の耐朽性が 小のもの	アカマツ、クロマツ、トドマツ、エゾマツ、ベイモミ、ベイツガ、ラジアタマツ、スプルース、ターミナリア、レッドラワン、アルストニア、プライ、ラミン	製材品： 狭い材面が50mm以下の製材： 木裏から10mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 狭い材面が50mmを超え75mm以下の製材： 木裏から15mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 狭い材面が75mmを超える製材： 木裏から20mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 丸太：表面から30mmの80%以上とする。

表2.2.3 A Q 保存処理製品の対象薬剤及び性能区分別薬剤吸収量

((財)日本住宅・木材技術センター)

薬剤名	有効成分	A Q 表示	吸収量 [kg / m ³]	
			1種(接地用)	2種(非接地用)
ナフテン酸銅(乳剤)	C U	N C U	1.5 以上	1.0 以上
ナフテン酸亜鉛(乳剤)	Z N	N Z N	4.0 以上	2.0 以上
アルキルアンモニウム化合物系	D D A C	A A C	9.0 以上	4.5 以上
銅・アルキルアンモニウム化合物系	A C Q	A C Q	5.2 以上	2.6 以上
バーサチック酸亜鉛・ピレスロイド系	Z N	V Z N	5.2 以上	2.6 以上
クロム・銅・ひ素化合物系	C C A	C C A	6.0 以上 18.0 以下	3.5 以上 10.5 以下
銅・ほう酸・アゾール化合物系	C U B A Z	C U A Z	5.2 以上	2.6 以上
銅・アゾール化合物系	C U A Z	C U A Z -2	2.0 以上	1.0 以上
ナフテン酸亜鉛(油剤)	Z N	N Z N	3.2 以上	1.6 以上
プロピタンホス・アゾール系	A Z P	A Z P	0.3 以上	0.15 以上
ほう酸・アルキルアンモニウム化合物系	B D D A C	B A A C	6.4 以上	3.2 以上
リグニン・銅・ほう素系化合物	C U B	L C B	6.0 以上	3.0 以上
クレオソート油	A	A	80 以上*	-

*処理液としての吸収量

2.3 木材保護塗装

2.3.1 木材保護塗料の原理

木材保護塗料とは、木材の劣化を予防し美観や耐久性の維持と向上を目的とした外装外構材向け塗料である。特に紫外線や風雨による風化、生物的汚染（腐朽と違いカビ類などにより木材表面の変色を引き起こす汚染）などを予防する。原理としては、塗装によって通常の塗料の性能に防腐性、かび抵抗性、洗水性などを付与し、結果として外部の美観向上及び維持に貢献する。防腐剤（特に加圧注入処理）が木材深く浸透し防腐防虫防蟻の形成層により表面からの一定層を保護するのと比較して、木材保護塗料は、塗料自身に薬剤が含浸されており、材表層で初期段階の微生物侵入や環境諸因子からの保護機能を果たす。

2.3.2 木材保護塗料の種類

通常、木材保護塗料は半透明着色塗料であり、塗装後でも木目が残り、木材の質感を損なわない。塗膜の形成状態からいわゆる造膜型と浸透型の2種類に分けられる。

（ ）造膜型

塗膜を造り、そのため光沢がある。美しく、初期の性能維持期間が長い。ただし、一度塗膜に割れや剥離などの劣化が生じると、生物汚染や日焼けによる変色が進行し、部分的な汚れが目立つ。塗り替え時、旧塗膜を剥離して再塗装後の剥離を防止したり、素地の漂白により仕上がりの美観を向上させることが必要となるため、コスト高になる。

（ ）浸透型

塗装ムラが少なく、塗装が簡単。造膜型に比べて劣化の進行は早いですが、顔料の離脱が徐々に進行するため、自然な風合いでの変色となる。また、塗り替え時に下地洗浄（塗装前の汚れ落とし）程度で再塗装が簡単にでき、コスト安になる。

2.3.3 メンテナンス

（ ）点検

木橋の美観、耐久性を保つためには、半年～1年毎に一度は定期的目視点検をする必要がある。劣化が生じやすい箇所は、絶えず日光に曝される箇所、雨や雪が良く当たる箇所、水が滞留し易い箇所、人通りが多い箇所などである。これらの塗装面に色調変化があると、塗膜劣化や色褪せ、微生物による変色が発生していることが考えられる。再塗装は、塗膜型の場合は塗膜が割れたり剥離が発生した時に、浸透型の場合は木材の色調が失われる前（全体にやや色褪せが始まったころ）に行うのが望ましい。

()メンテナンス方法

a. 造膜型

同じ塗料で重ね塗りをするか、変色や劣化が著しければ、旧塗膜を80～100番手の粗いサンドペーパーで研磨、あるいは市販の木材用塗料剥離剤にて剥離を行い、完全に旧塗膜を取り除いてから再塗装を実施する。

b. 浸透型

同じ塗料で重ね塗りをするか、変色や劣化が著しければ、漂白剤、洗浄剤を用いて洗浄後、必要に応じて毛羽立ちなどの欠点をサンディングなどで除去後、再塗装を実施する。浸透型の再塗装では、風化により微細クラックの発生で塗料の吸収が良くなるため、塗布量が増大するが次回のメンテナンス時期が延長される。