

ケーブルを有する橋梁のリスクアセスメントの提案ー秋田県由利橋について

環境構造工学分野 7021531 兼田 姫梨
指導教員 青木 由香利

研究目的

斜張橋を用いて日本にリスクアセスメントの重要性を提案すること。

リスクアセスメントとは建設前の橋梁に対して、事前に予想できるリスクを過去のデータから定量的に求めることをいう。

それらのリスクを踏まえたうえで、リスクは許容範囲内であるか・何か特別な対策は必要なのかなどを検討する。

海外と日本の設計の違い

海外

- ✓ その場の状況＋ある特定のリスクを考慮
- ✓ 状況やリスクに応じて、ボーダーラインを設定



多くのリスクを定量的に評価・対策

日本

- ✓ どんな事故も起こさないような設計
- ✓ 道路橋示方書に大きく依存
- ✓ 安全であることが基本



全てのリスクに対応

既存の橋梁 秋田県由利本荘市にある「由利橋」に対してリスクアセスメントを行い、その結果を調査した

リスクアセスメントの基本的な考え方

前提

- ・リスクや災害をゼロにすることはできない
- ・すべてのリスクに対応することは、無限の費用を要することになり現実的ではない
- ・許容可能なレベルに達していないリスクから優先的に対策を実施する = リスクの優先順位を付けることが重要である

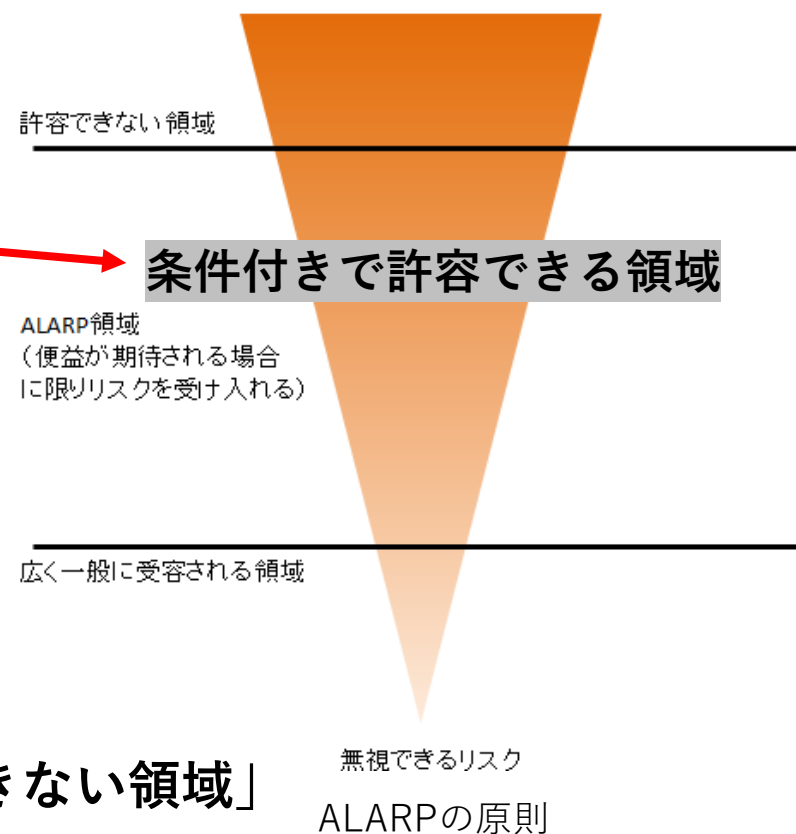
- ・自然災害レベル以下
- ・リスク低減効果⇄必要な費用のバランスが著しく不当にならないレベル
- ・実行可能な限りできるだけ低くしたレベル = **ALARP領域**

そのリスクが許容されるわけではないが、ある利便性を確保するためには
リスクが適切に制御されているという条件下ではそのリスクを伴う生活を受け入れる領域

= 条件付きで許容できる領域

~~安全か安全でないか
二択~~

「広く許容できる領域」・「条件付きで許容できる領域」・「許容できない領域」
3つの領域で安全を考える



※ALARP= as low as reasonably practicable

▶ 考慮すべきリスク

リスク	種類	例
ユーザーリスク	ユーザーの生死・けがに関わるもの	死亡交通事故・事故率…etc.
通行止めリスク	ユーザーや所有者の利便性に関わるもの	大事故・大規模損傷・悪天候・火災…etc.

▶ リスクアセスメントの流れ

基本条件・情報の整理

リスクの定量化・優先順位の決定

対策を実施するリスクの選定

- ◆ Design-Strategy1：偶発事故に対して、適用可能な規定や広く一般に知られている事例を基に設計
- ー地震
 - ー自動車荷重
 - ー風
 - ー気温
 - ー高水位・波
 - ー津波
 - ーリスクを個別で検討

日本でも一般的

- ◆ Design-Strategy2：適用可能な規定や事例がない特定のリスクに対して、
- リスクの許容値を自ら定義＋リスクアナリシスを行って評価と設計
- ー火災
 - ー爆発
 - ー危険物放出
 - ー船舶・航空機衝突
 - ー自動車の主塔やケーブル衝突
 - ーあるリスク＋それに伴い、新たに発生するリスクは何かを検討

一般の設計ではカバーされない
道路橋示方書では曖昧な点が多い

Design-Strategy2のリスクアセスメントの方法

Step1：必要なデータ収集

Step2：危険事象・有害物の特定

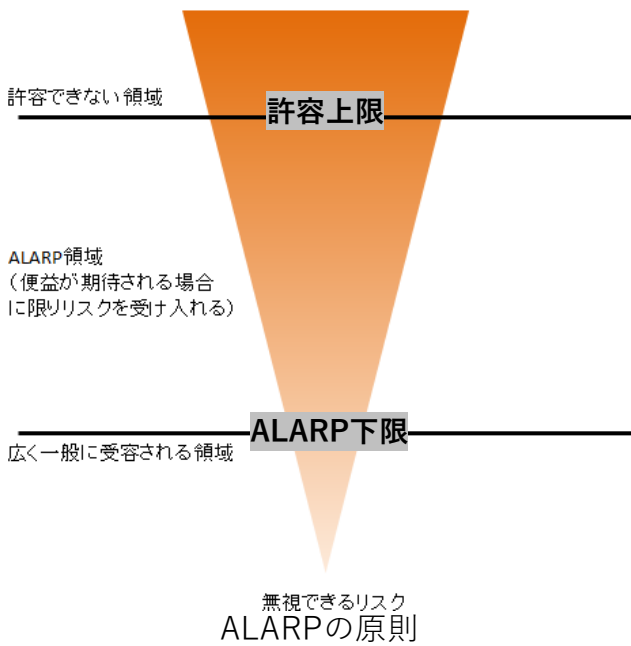
Step3：特定した個々の危険に対するリスクアナリシス及びリスクマネジメントの検討

Step4：結果集約及び全体的なリスクアナリシス

海外の事例：Osman Gazi bridge



名称：Osman Gazi bridge
国：トルコ
橋長：2682m
種別：高速自動車国道
供用開始日：2016年7月



リスク評価結果

ユーザーリスク許容値 (死亡率/user-km)

許容上限	9.7×10^{-9}
ALARP下限	9.7×10^{-12}

ユーザーリスク評価まとめ(死亡率/user-km)

交通事故	6.1×10^{-9}
船舶衝突	2.6×10^{-9}
航空機衝突	-
有害物放射	7.6×10^{-11}
火災・爆発	7.5×10^{-11}
自然災害 (津波・豪雨・海底洗堀)	1.0×10^{-10}

通行止めリスク許容値 (/year)

許容上限	1.0×10^{-4}
ALARP下限	1.0×10^{-6}

30日以上の通行止めリスク評価まとめ(/year)

航空機衝突	-
船舶衝突	2.2×10^{-6}
船舶火災・爆発	6.5×10^{-7}
道路火災・爆発	3.7×10^{-3}
パイプライン事故	4.5×10^{-7}
自然災害 (津波・豪雨・海底洗堀)	$< 1.0 \times 10^{-4}$

リスク軽減対策例

	30日以上の通行止めリスク
対策前	3.7×10^{-3}
対策後	2.7×10^{-5}

リスク 99%減少!

スプリンクラーの設置
耐火塗料を主塔に塗装



由利橋のリスクアセスメント



名称：由利橋
所在：秋田県由利本荘市
橋長：190m
供用開始日：2013年1月



2025年2月5日17時～全面通行止め
原因：ボルト落下事故



▶ 想定リスク

- ◆ Design-Strategy2：事例がない特定のリスクに対して、
リスクの許容値を自ら定義＋リスクアナリシスを行って評価
－火災－落雪－着雪－落雷－凍結－暴風－津波－氾濫

リスク	種類	例
ユーザーリスク	ユーザーの生死・けがに関わるもの	死亡交通事故・事故率…etc.
通行止めリスク	ユーザーや所有者の利便性に関わるもの	大事故・大規模損傷・悪天候・火災…etc.

▶ 許容上限とALARP下限の設定

- ◆ ユーザーリスク…日本で定められている死亡事故率＝3～5件/1億km
許容上限： 5.0×10^{-8}
ALARP下限： 5.0×10^{-11} (Osman Gazi bridge 同様 許容上限の1/1000)
- ◆ 通行止めリスク…Osman Gazi bridgeと由利橋の比率から定義
Osman Gazi：由利橋＝2682m：190m → 約0.077倍
許容上限： $1.0 \times 10^{-4} \times 0.077 = 7.7 \times 10^{-6}$
ALARP下限： 7.7×10^{-8} (Osman Gazi bridge 同様許容上限の1/100)

リスクの調査

ユーザーリスク

- 1kmあたりの事故発生率：0.071/user-km
- 県道の交通事故死者率：19.1%
- 一般単路で死者率が出た交通事故の割合：49.3%
- 全国交通事故死者数に対して秋田県の死者率は0.84%
- 由利橋の推定大型車混入率：12.9%
- 自動車と人の接触事故率：10.7%
- 全HGV(Heavy goods vehicle)のうち7.9%は危険物輸送
- 危険物輸送のうち83.3%は可燃物輸送
- 一般単路の補正係数：0.1

通行止めリスク

- 1kmあたりの事故発生率：0.071/km × year
- 県道の交通事故死者率：19.1%
- 一般単路で死者率が出た交通事故の割合：49.3%
- 由利橋の推定大型車混入率：12.9%
- 火災が発生するような事故(正面衝突等・追突)が起こるのは36.2%
- 全HGV(Heavy goods vehicle)のうち7.9%は危険物輸送
- 危険物輸送のうち83.3%は可燃物輸送
- 一般単路の補正係数：0.1

リスクの結果

ユーザーリスク (死亡率 /user-km)

許容上限	5.0×10^{-8}
ALARP下限	5.0×10^{-11}
ユーザーリスク評価	9.7×10^{-10}

許容できない領域

ALARP領域
(便益が期待される場合に限りリスクを受け入れる)

由利橋のユーザーリスク

広く一般に受容される領域

無視できるリスク
ALARPの原則

通行止めリスク (/year)

許容上限	7.7×10^{-6}
ALARP下限	7.7×10^{-8}
通行止めリスク評価	3.7×10^{-7}

許容できない領域

由利橋の通行止めリスク

広く一般に受容される領域

無視できるリスク
ALARPの原則

まとめ

▶ 由利橋の結果

ユーザーリスク (死亡率 /user-km)

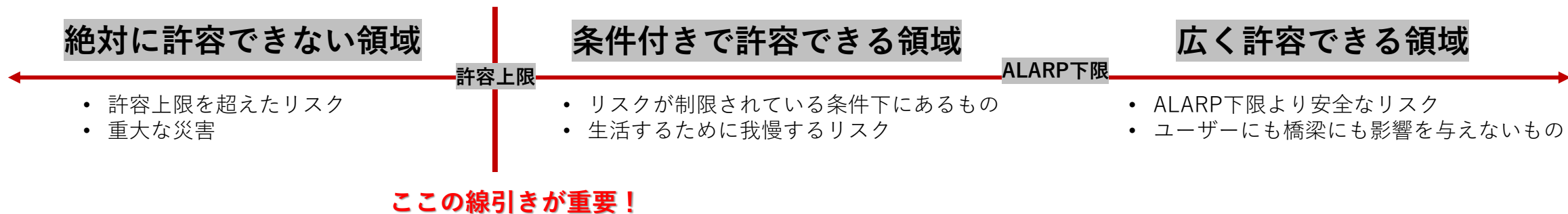
通行止めリスク (/year)

許容上限	5.0×10^{-8}	許容上限	7.7×10^{-6}
ALARP下限	5.0×10^{-11}	ALARP下限	7.7×10^{-8}
ユーザーリスク評価	9.7×10^{-10}	通行止めリスク評価	3.7×10^{-7}

- ✓ 総合して大きな火災リスクはなかった
- ✓ 対策をするのであれば「通行止めリスク」を考慮すればよい

▶ リスクアセスメントの重要性

- ✓ リスクの優先順位をつけることが前提
- ✓ リスクを定量的に求めることは、その土地や状況に合った適切なアドバイスに繋がる
- ✓ 設計時のOver-Design及びUnder-Designを抑制する
- ✓ 日本でもリスクアセスメントを広く取り入れることで「リスクの低下 + 費用・時間・人員の削減」に繋がる



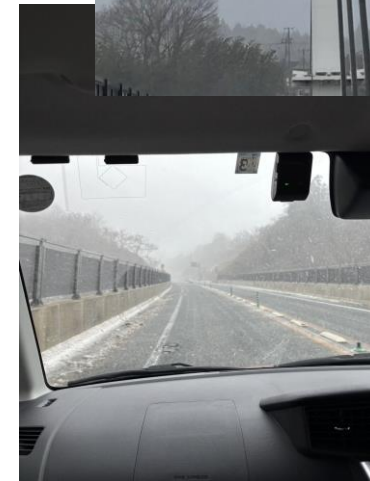
補足ページ

由利橋の現状

ギャロッピング



ボルトが16本落下



最大瞬間風速：17.9m/s

日本の対策事例



図1：防風柵

“引用元：JFE建材株式会社”

URL：<https://jfe-kenzai.co.jp/products/blast-fences/>

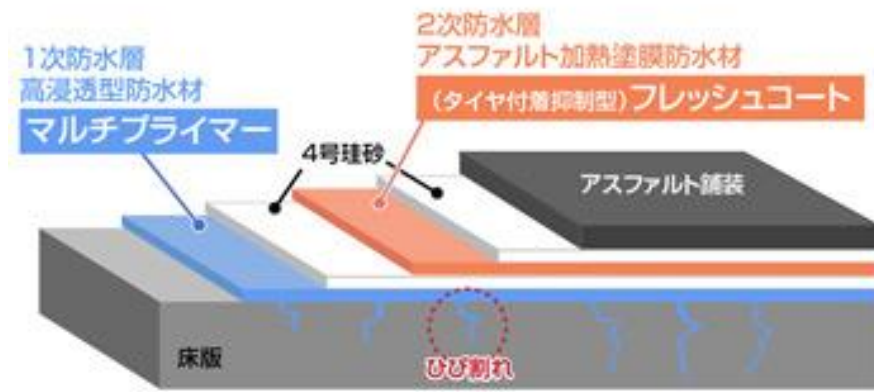


図4：防水工

“引用元：近畿ニチレキ工事株式会社”

URL：<https://www.nichireki-kouji.com/method/bridgg>



図2：耐火板

“引用元：天龍ファイアベック株式会社”

URL：http://tenryufp.co.jp/jgy/03tbk_05.html



図3：日覆工

“引用元：天龍ファイアベック株式会社”

URL：http://tenryufp.co.jp/jgy/03tbk_05.html

- ✓ 防風柵で強風や雪を防ぐ
- ✓ 耐火板で火災対策
- ✓ 日覆工で直射日光や落下物から管を守り劣化を防ぐ
- ✓ 日覆工でケーブル伸縮の防止
- ✓ 防水工は雨水や塩化物イオンなどの影響による床版の劣化を防ぐ
- ✓ 防水工は車のスリップなどの事故を防ぐ

日本の設計基準

- ✓ 状況に応じて必要な橋の機能を満足する適切な状態にあることを、**それぞれの所要の信頼性で実現**できるように設計する(道路橋示方書：1.8.1)
- ✓ 人為的に引き起こされる事故や沿道の火災などによる二次的被害、故意の破壊活動等による影響などについても橋によっては想定することが適当な場合もあると考えられるが、これらの状況を全ての橋に対して同じように考慮することは必ずしも合理的でない(道路橋示方書：2.1)
- ✓ 設計供用期間中に橋がおかれる最も不利な状況としては、広義には不測の事故や災害も含まれると解される。～中略～1.8.3の**構造設計上の配慮事項に規定**されており、計画上十分な配慮を行ったり、橋の状態に関わる部材等の状態をできるだけ速やかに確認できるようにあらかじめ具体的な構造上の配慮をしておくことが求められる。(道路橋示方書：2.1)
- ✓ ケーブル構造においては、車両による衝突や落雷など不測の損傷により、過去ケーブル部材が破断した事例もあることから、設計上取替えを計画的に行う維持管理を前提とはしない場合でも、ケーブル部材の交換ができる構造とすることについて経済的合理性も考慮して、その**必要性を検討するのがよい**。(道路橋示方書：3.8.3)
- ✓ 斜張橋ケーブルでは、落雷や自動車の衝突、船舶の桁への衝突、大規模地震等によるケーブルの損傷のため、取替えが必要となった事例が国内外で報告されている。このため、そのような事象に対して**ケーブル部材を交換できるよう構造的な配慮について検討する必要がある**。(道路橋示方書：18.5.1)
- ✓ ケーブル部材が損傷する原因として、腐食や疲労などのほか、偶発的な事象として**自動車の火災**などによる熱影響が考えられる。～中略～吊橋造形式橋梁の設計にあたっては、標準的には道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性など橋の重要性等を鑑みて、**耐火性を考慮するかどうか、道路管理者が個々に検討すること**となる。(道路橋ケーブル構造便覧：2.1.4)
- ✓ 車両による衝突や落雷など不測の損傷により取替えが必要となった場合に、**取替えが可能となる構造が採用できるか確認する必要がある**。(道路橋ケーブル構造便覧：2.2.3)
- ✓ 道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性など**橋の重要性を鑑みて、耐火性を考慮するか検討**を行い、考慮する場合には必要な検討を行ったうえで設計に反映する必要がある。(道路橋ケーブル構造便覧：4.4.1)

これらの文言からあらゆるリスクは考慮済みとしているが、本当に全てのリスクを網羅しているのか？

季節ごとの通行止めリスク

ユーザーリスク	
春夏(4～9月)	4.3×10^{-10}
秋冬(10～翌2月)	5.2×10^{-10}

ユーザーリスク

- 1kmあたりの事故発生率：0.071/km×年
- 県道の交通事故死者率：19.1%
- 一般単路で死者率が出た交通事故の割合：49.3%
- 全国交通事故死者数に対して秋田県の死者数は0.84%
- 由利橋の推定大型車混入率：12.9%
- 自動車と人の接触事故率：10.7%
- 全HGV(Heavy goods vehicle)のうち7.9%は危険物輸送
- 危険物輸送のうち83.3%は可燃物輸送
- 一般単路の補正係数：0.1



春夏の交通事故率：0.45

or

秋冬の交通事故率：0.53

通行止めリスク	
春夏(4～9月)	1.7×10^{-7}
秋冬(10～翌2月)	2.0×10^{-7}

通行止めリスク

- 1kmあたりの事故発生率：0.071/km×年
- 県道の交通事故死者率：19.1%
- 一般単路で死者率が出た交通事故の割合：49.3%
- 由利橋の推定大型車混入率：12.9%
- 火災が起こるような事故(正面衝突等・追突)が起こるのは36.2%
- 全HGV(Heavy goods vehicle)のうち7.9%は危険物輸送
- 危険物輸送のうち83.3%は可燃物輸送
- 一般単路の補正係数：0.1



春夏の交通事故率：0.45

or

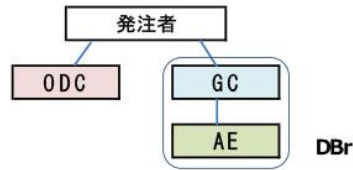
秋冬の交通事故率：0.53

- ✓ 秋冬の方がリスクが大きくなった
- ✓ 日照時間の減少や積雪、凍結などが原因
- ✓ 電灯・凍結防止剤などが対策として考えられる

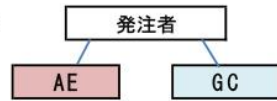
日本の土木事業の特徴

プロジェクト(調達)方式とリスク(英国の例) Project Delivery and Risk Allocation

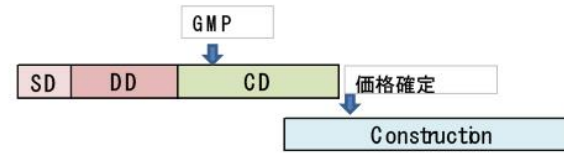
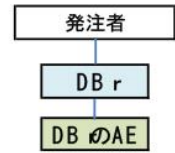
Bridging



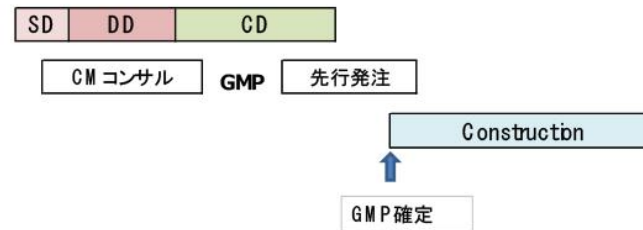
Design-Bid-Build



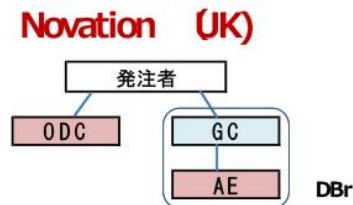
Design Build



CM-at-Risk



Novation



凡例:

ODC:
Owner's Design Con

AE:
Architect & Engineer

DB r
Design-Builder

CM:
Construction Manag

SD:
Schematic Design

BCD:
Bridging Contract Documents

DD:
Design Development

CD:
Construction Drawings

GMP:
Guaranteed Maximum Price

	リスク分担の考え方	
調達方式別	発注者	施工者
DB :設計施工一括方式 (基本設計から)		
DB :設計施工一括方式 (詳細設計から)		
設計施工分離方式 (総額請負)		
設計施工分離方式 (実費精算)		
マネジメント・コントラクト方式		
CM (コンストラクション・マネジメント)方式		

DDB(Design , Bid , Build)方式
…国が資金を調達する分割発注