

バウアー工法研究会 技術セミナー

橋梁建設における リスクマネジメント

バウアー工法研究会 会長

(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会代表理事 岡原美知夫

略歴

- ✓ 京都大学、コロンビア大学を卒業、京都大学工学博士、技術士
- ✓ 昭和49年に建設省に入省、土研基礎研究室長、関東地整首都国道所長、土研構造橋梁部長、研究調整官、理事、
- ✓ 土研退職後、(財)先端建設技術センター理事長、等を歴任
- ✓ 現在、(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会代表理事
JICA橋梁アドバイザーを務める

- ✓ 世界道路協会リスクマネジメント技術委員会委員長、日本道路協会橋梁委員長、等を歴任
- ✓ 専門分野は橋梁、基礎、リスクマネジメント、防災

道路橋示方書の適用

リスクマネジメント一般・リスク対策の例

超高難度の橋梁の設計施工例

優位性のある技術(リスクの低い技術)

まとめ

道路橋示方書の改定の経緯

- 平成6年改定: ①車両の大型化(25トン対応)②大型車の交通に応じてA活荷重とB活荷重を導入
- 平成8年改定: 兵庫県南部地震を契機としてレベル2地震動の導入
- 平成13年改定: ①性能規定化の導入②疲労・塩害に対する耐久性能の規定
- 平成24年改定: ①東北地方太平洋沖地震を契機として設計地震動の見直し②維持管理のための設計の配慮事項の規定
- 平成30年改定: ①許容応力度設計法から部分係数設計法(限界状態設計法)へ転換②長寿命化を実現するための規定(設計供用期間100年)

橋の限界状態・耐荷性能

橋の(荷重の)状況: 永続作用(死荷重)、変動作用(活荷重等)、偶発作用(L2地震)

橋の(構造の)限界状態:

1. 橋の限界状態1: 荷重を支持する能力が損なわれていない限界状態
(可逆性を有する限界状態、残留変位がゼロと見なせる限界状態)
2. 橋の限界状態2: 限定的な損傷にとどまっている限界状態
(荷重を支持する能力が限定的な低下にとどまっている限界状態)
3. 橋の限界状態3: 致命的な損傷に至らない限界状態
(落橋に至らない限界)

耐荷性能: 限界状態を超えないことを照査

例えば、耐荷性能2を求める橋(B種)では、偶発作用(L2地震)が支配的な場合、限界状態2を超えない安全余裕を確保する

橋梁建設において地盤に起因するリスクが大きい

特に注意が必要な地盤:

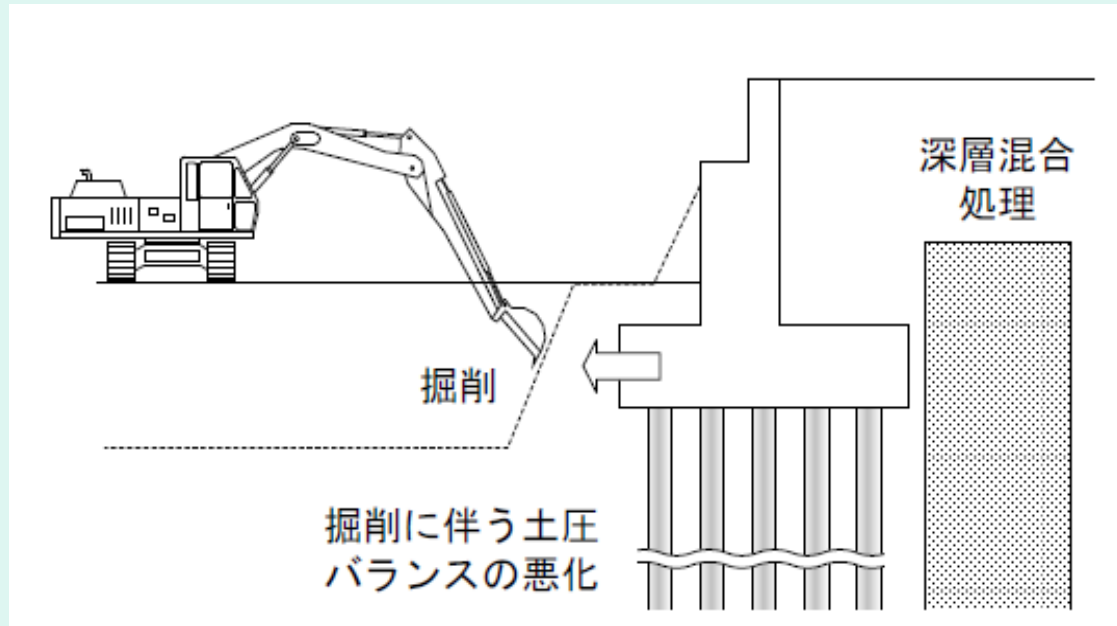
- 軟弱地盤(圧密沈下)
- 丘陵及び山地部で注意すべき地形・地質(斜面崩壊)
- 地震時に不安定となる地盤(液状化、流動化)
- 特殊土(一般の土質工学の手法だけでは、設計施工ができないような土、問題土のこと。膨張性土(ブラックコットンソイル)、シラス等)
- 超硬岩の地盤(例えば、アフリカ等で見られる)
- 調査が不足している地盤(海外では一般的)

軟弱地盤上で偏荷重を受ける基礎

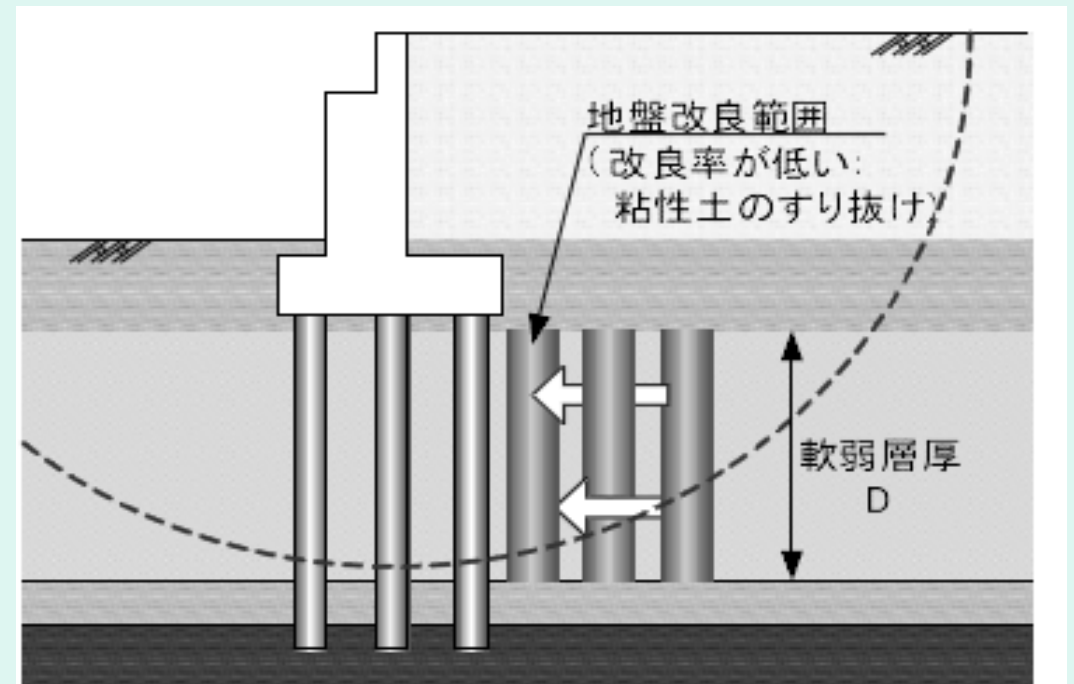
軟弱地盤上の橋台の側方移動については、従来より判定手法(I値)を規定

⇒ 施工時の地盤面の変化等の影響，不十分な地盤対策，判定式の不適切な適用等により，側方移動の事例が多く発生

⇒ 橋台の移動に伴い桁が損傷する例も。



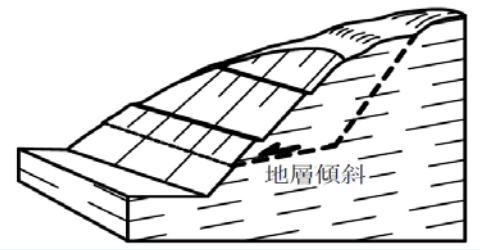
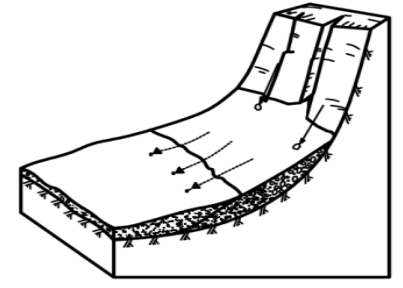
前面掘削による土圧バランスの悪化



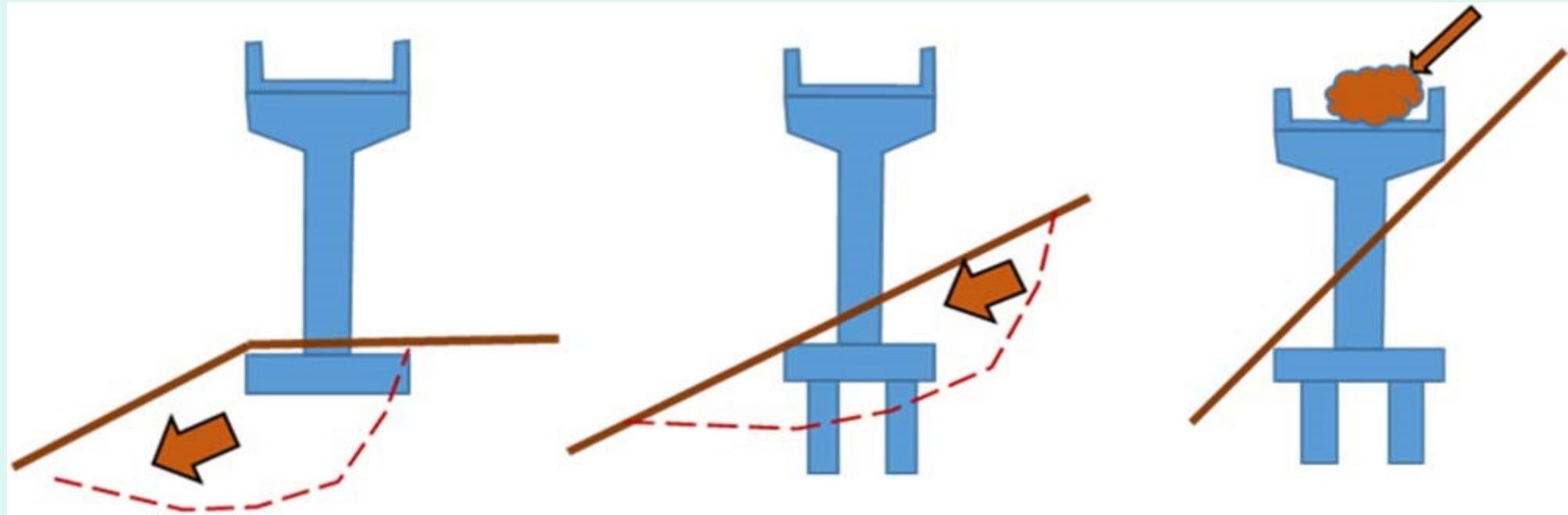
軟弱層の流動によるすり抜け

丘陵及び山地部で注意すべき地形, 地質(1/2)

注意すべき地形・地質の例:

注意すべき 地形・地質	懸念される現象	主な調査項目
<p>地層の傾斜が地形 (切土)の傾斜と同一 方向に傾斜している地 盤(流れ盤)</p> 	<ul style="list-style-type: none">・将来的な斜面崩壊, 地すべり	<ul style="list-style-type: none">・近傍の災害履歴, 対策工の有無・地層の傾斜方向, 割れ目, 層構造・湧水の有無
<p>山麓や谷沿いに崩壊 物が堆積した地形(崖 錐)</p> 	<ul style="list-style-type: none">・施工時の湧水, 崩壊の発生・将来的な落石, 崩壊	<ul style="list-style-type: none">・崖錐の分布(平面, 深度), 硬軟, 安定性・湧水の有無

橋に影響する斜面崩壊のパターン(2/2)



落橋事例あり

落橋事例なし

落橋事例あり

橋台部ジョイントレス構造(H24道示で規定)(1/2)

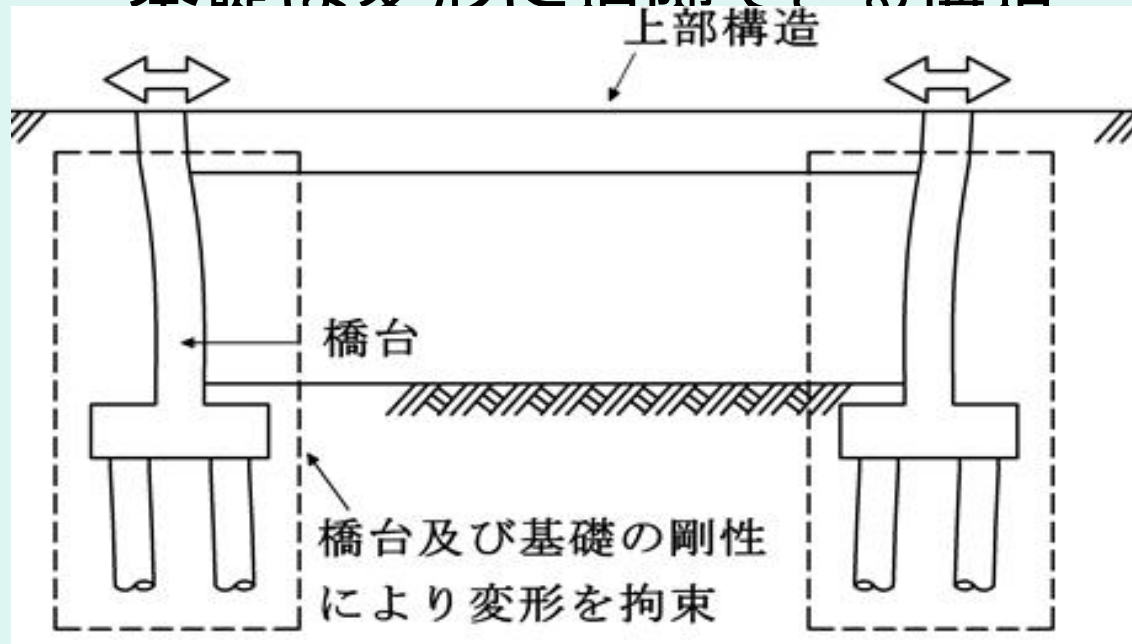
(a)門型ラーメン構造

橋台・基礎の剛性により変形を拘束(従来と同様の基礎)

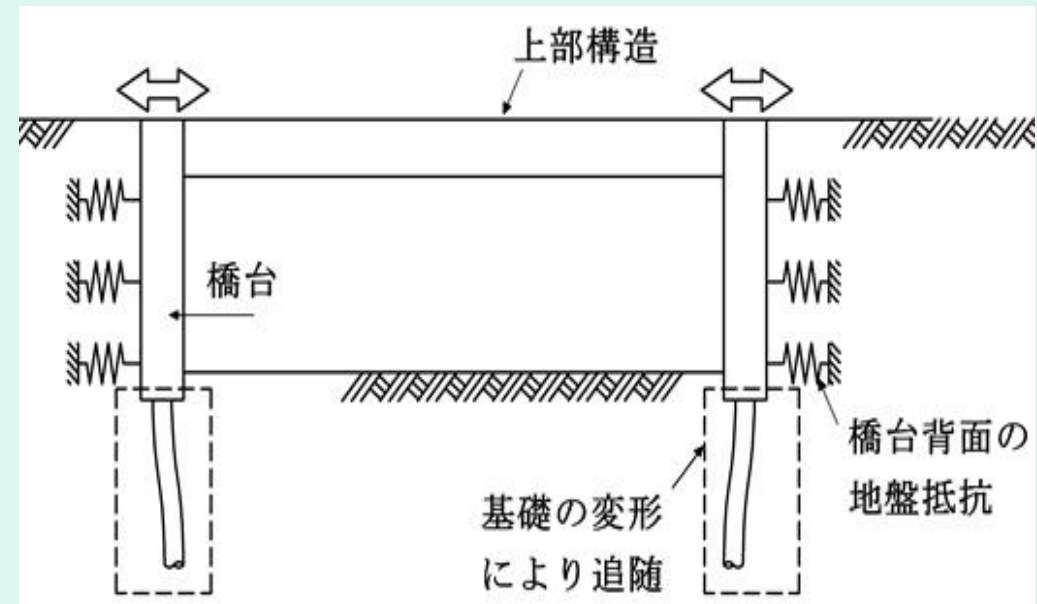
(b)インテグラルアバット構造

橋台背面の地盤抵抗により変形を拘束

基礎は変形に追随できる構造



(a)門型ラーメン構造



(b)インテグラルアバット構造

橋台部ジョイントレス構造(2/2)

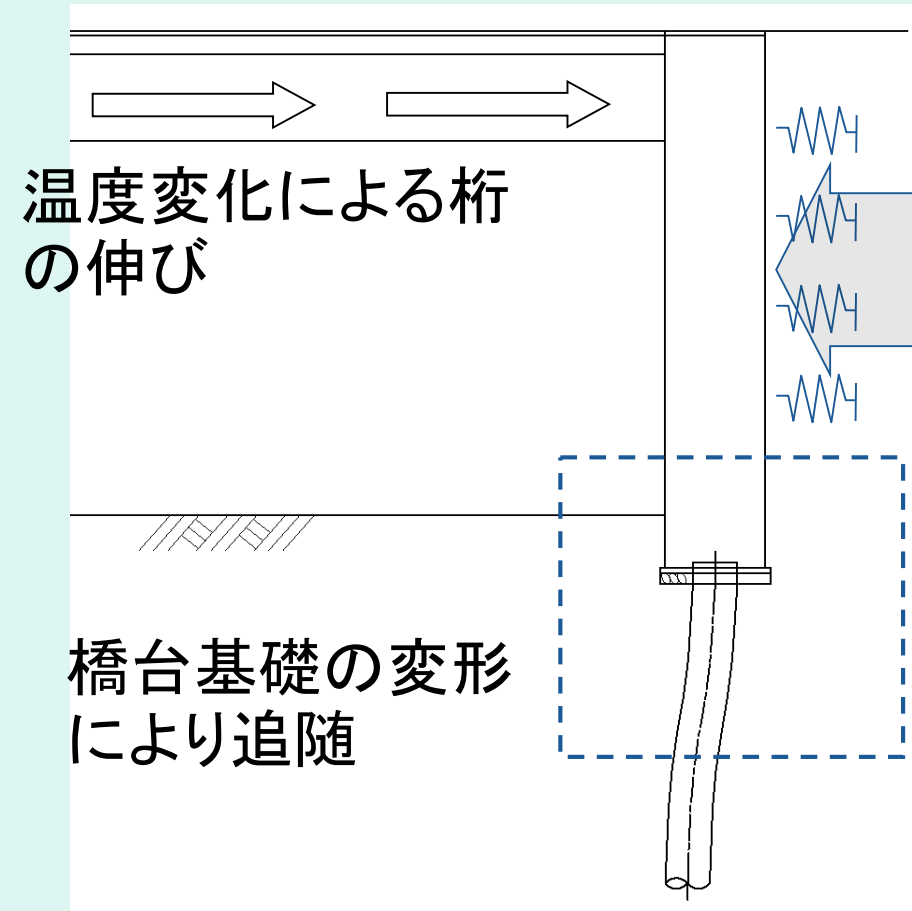
(b) インテグラルアバット構造

橋台背面の地盤が確実に抵抗することが前提条件

⇒ 斜角を有する条件, 側方移動が生じるような軟弱地盤, 液状化地盤では適用困難

⇒ 橋台背面アプローチ部の安定, 維持管理等への配慮が必要

背面地盤の抵抗を考慮



橋台背面アプローチ部(H24道示で規定)(1/2)

地震時等で橋台背面に著しい段差が発生，通行ができず結果的に橋としての機能の回復に影響

⇒橋と背面側の盛土等との間を橋台背面アプローチ部と定義し，**路面の連続性を確保できる構造**とすることを規定

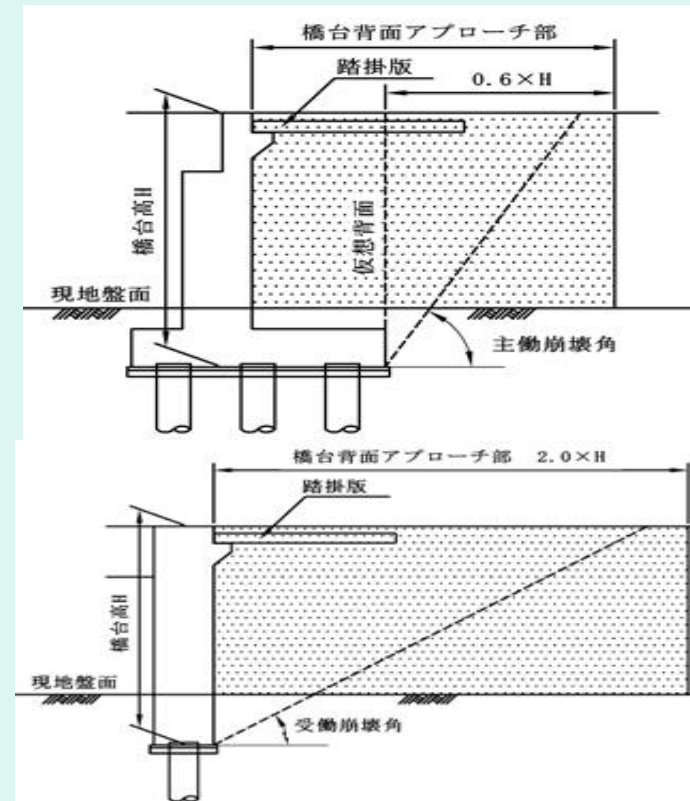


橋台背面アプローチ部 地震時通行止めリスクの低減(2/2)

良質な材料を用いて設計・施工を行う

- 1)常時・地震時の基礎地盤の安定性
- 2)常時・地震時のアプローチ部本体の安定性
- 3)降雨時の排水性

- 地震後の避難路・緊急輸送路等通行機能の確保が必要な橋は、踏掛版の設置等適切な対策を講じる



(a)一般の橋台の場合

(b)背面地盤抵抗を考慮する橋台の場合
(インテグラルアバット構造)

道路橋示方書の適用

リスクマネジメント一般・リスク対策の例

超高難度の橋梁の設計施工例

優位性のある技術(リスクの低い技術)

まとめ

リスクマネジメントには知識・データに基づくリスク認識が必要

西暦79年、ベスビオ山の噴火は12時間続き、噴火末期に火砕流発生。多くの住民は脱出したが、**2万人のうち2千人死亡**。壊滅したポンペイの遺跡

リスクの過小評価や見落としは、致命的な結果になる



日常生活でリスクが見逃されている例:

リスク認識があれば安全ベルトが使用される



人のリスク認識は、実際のリスクとギャップがある。リスクを見逃したため、大きな事故につながる可能性がある



(オーストリアにおける後部座席の安全ベルト使用キャンペーン)

リスクの定義

- **リスクの定義 (ISO)**: 事象の発生確率と事象の結果の組み合わせ (結果は好ましいものから好ましくないものまで含む)
 - **安全分野のリスクの定義**: 危害の発生する確率と危害のひどさの組み合わせ
 - **リスクの数学的定義**: 被害の大きさに発生確率を乗じた、損失期待値
-
- **ハザード**: 事象の結果をもたらす原因
 - **災害**: 事象の結果 (自然災害と人為的災害がある)



ブエノスアイレス

サンパウロ

リオデジャネイロ

ラゴス

ヨハネスブルグ

カラチ

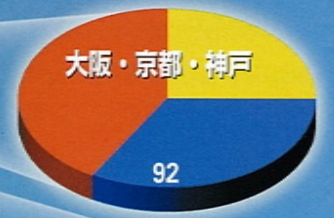
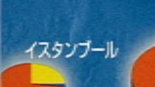
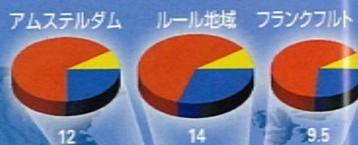
ムンバイ

バンガロール

カルカッタ

ジャカルタ

シドニー



世界各都市の自然災害リスクを、発生確率・都市の脆弱性・経済の影響の指標で数値化した例

ドイツの再保険会社「ミュンヘン再保険」、Newton (011.7より)

リスクマネジメントと危機管理の違い

■ リスクマネジメント

- **リスクが顕在化する前、事前対策を実施**（将来の不確実性に対応）
- **通常の業務の一環**
- ⇒ **設計や維持管理に於ける判断の合理性・透明性が必要**

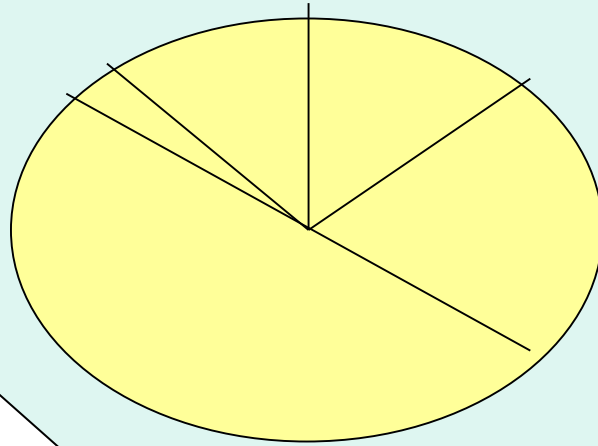
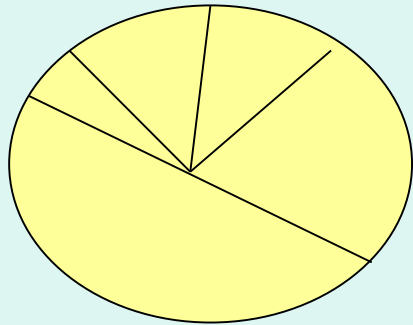
■ 危機管理（クライシスマネジメント）

- **リスクが顕在化した後、短時間で被害を軽減するための事後対策を実施**
- **緊急事態での業務**
- ⇒ **優先順位が重要、例えば人命救助が優先**

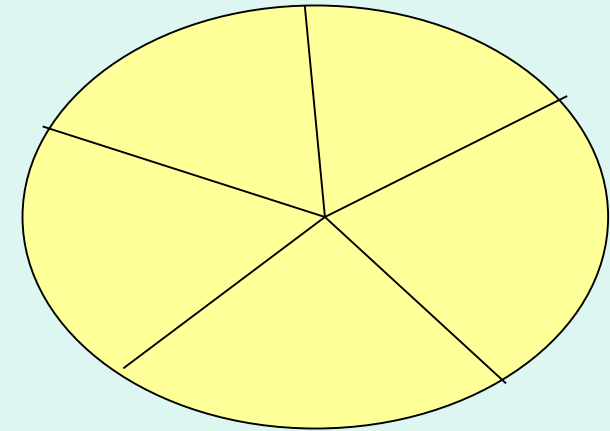
想定外リスクの顕在化に対して危機管理で対応

リスク低減の考え方：損害額の低減と損害額を社会で負担

損害額を低減(耐震補強)



損害額を社会で負担(保険)



注)円の大きさは損失額を表し、扇の大きさは損害の配分を表す。

リスクの大きい工事と供用構造物

- トンネル工事
 - 軟弱地盤での工事
 - 岩盤・斜面地盤での工事
 - 橋梁の架設工事
-
- 長大トンネル
 - 老朽化した構造物
 - 設計施工ミスのある構造物
 - 鉄筋段落とし部、ゲルバー桁など構造的に弱点を持つ橋梁

軟弱地盤での大深度掘削は事故が多い⇒観測施工がリスク低減
シンガポール地下鉄工事の事故2004



マリンクレイの軟弱地盤での深さ30mの開削工事の事故

リスク要因: 軟弱地盤の実際に作用する
土圧と理論土圧の不整合

海外工事の設計施工リスクの例：超硬岩における施工のトラブル

トラブル：設計の見直し、掘削機械の故障、工期の遅れ

ケーシングの引き抜きに
苦勞



陸上部の硬岩の掘削試験
一軸強度は100MPa以上



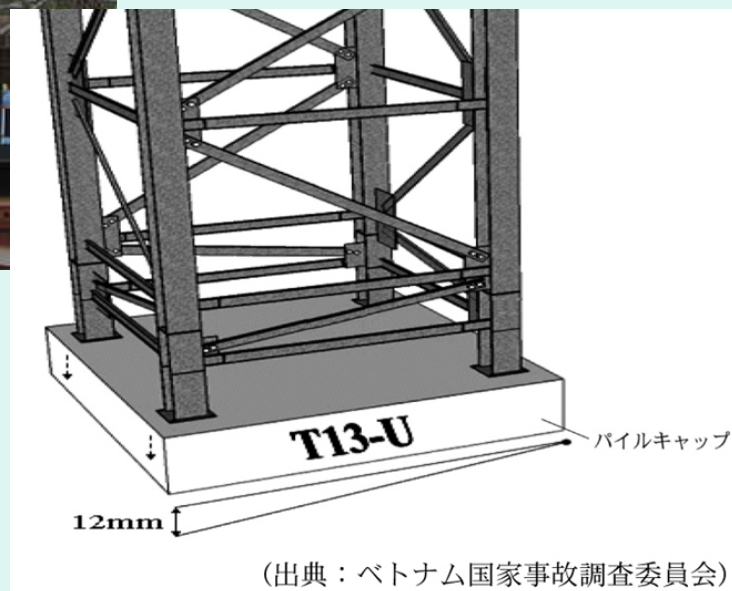
全旋回掘削機の先端ビットの摩耗

軟弱地盤における橋梁架設の事故⇒地盤リスクの低減が必要



ベトナム国カントー橋崩落事故 2007

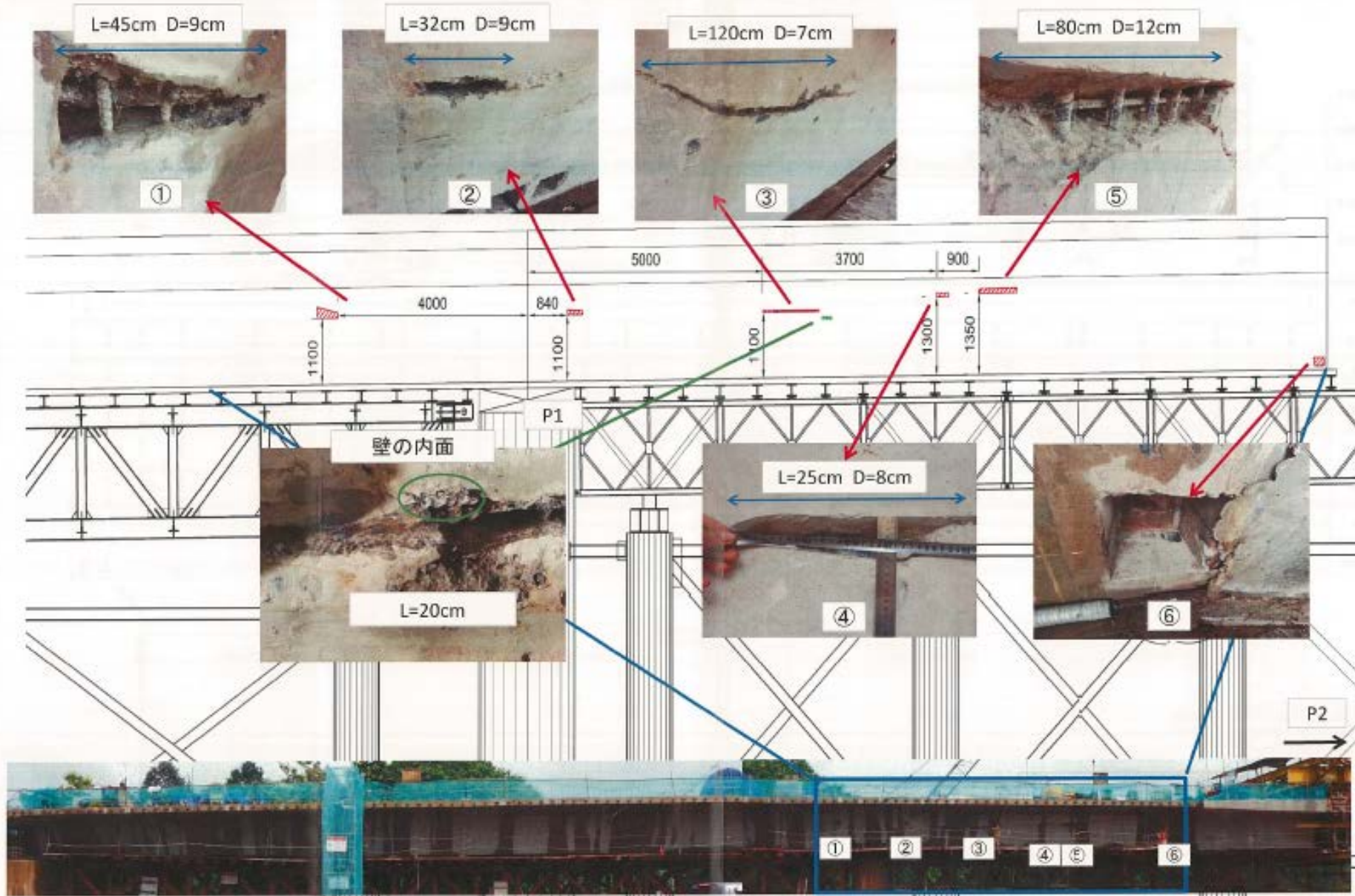
事故原因：
仮設支柱が不等沈下
設計では予測困難
(事故調査報告書)



(出典：ベトナム国家事故調査委員会)

海外工事の施工リスクの例：PCコンクリート主桁の施工不良(1/2)

Map for Concrete Problem A1-P1 Upstream side

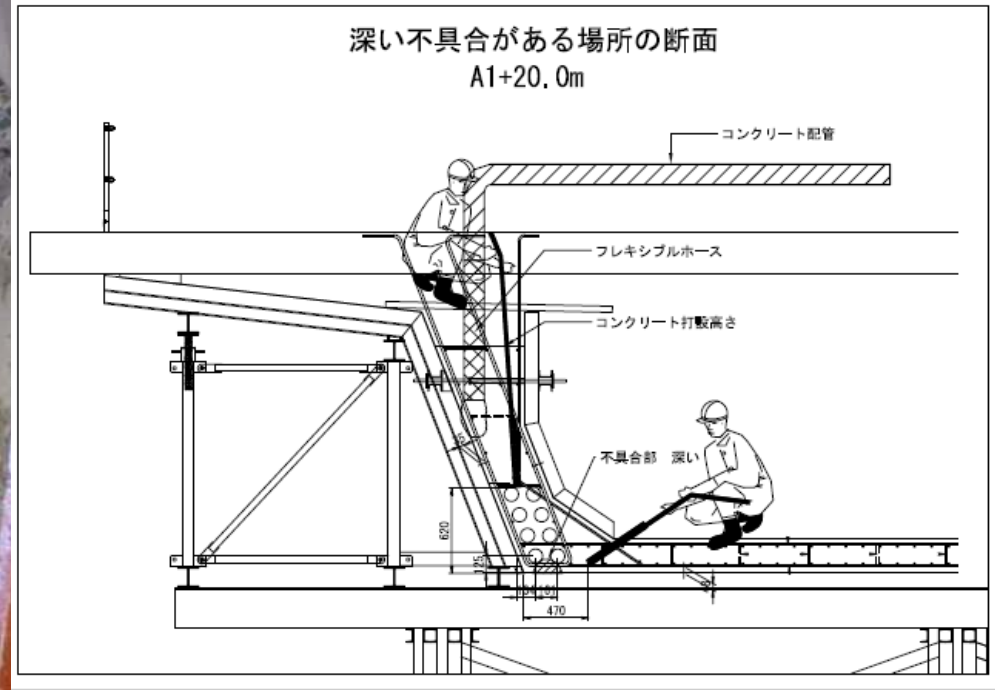


ラオス
ODAプロジェクト

PCコンクリート主桁の施工不良(2/2)

海外では一般に施工リスクが高い⇒

施工に精通した技術者の配置がリスク低減に効果的



PCケーブルのシース管が露出←設計と施工に問題あり

海外工事：施工の不具合のリスク対策

* **施工の不具合：①コンクリートの品質不良、②橋梁架設のトラブル、③杭の支持力不足、④軟弱地盤でのすべり破壊や沈下、⑤不良設計による施工の不具合、等**

①のコンクリートの不具合の例は多い。日中高温下でのコンクリート打設、スランブ管理の不適切、プラントの不具合、経験の少ない担当技術者等いろいろな原因がある。

②のリスクは、国内でも時々顕在化がある。人的被害につながるので、橋梁架設のリスク対策は細心の注意が必要。

③のリスクは、地中部の品質確認が難しいため顕在化の例は多くないが、潜在的には不良施工は少なくないと思われる。ただし、リスクが顕在化するとコストや工期で大きな負担を伴う。

杭の施工プロセスの管理を徹底すること(統合管理装置の利用)によりリスク低減が可。

④のリスクは発生確率が高い。大きな被害につながる恐れのある場合は観測施工などのリスク対策を講ずるべき(予測計算に頼るのはリスクがある)。

⑤のリスクで、施工よりも設計が悪い例が少なくない。工事着手後の設計の見直しは工期、コストのリスクを高めるので、設計の見直しを行う場合は工事着手前に行う必要がある。一般にこのリスクが顕在化するとコストや工期で大きな負担を伴う。

施工の不具合のリスク低減には、一般的に、経験者の活用、不具合事例の共有、IT技術の活用などが効果的である。

供用中の橋が突然崩壊(1/2) ⇒ 冗長性によりリスク低減が可能

1箇所¹の格点のガセットプレートが疲労損傷：
実際の板厚は必要な板厚の半分。

設計ミス(特定が困難) ⇒ 冗長性によるリスク低減



1967年供用 鋼上路トラス橋
橋長581m
日交通量: 約14万台

ミネアポリス ミシシッピ川に架かる橋梁が崩壊
2007年8月

短期間で復旧：危機管理の成功例(2/2)



3径間プレキャストPC箱桁橋梁 橋長334m
デザインビルドで発注 工期短縮のインセンティブを付与
97日間の工期短縮が行われ、旧橋撤去を含めて13ヶ月で架け替えられた

熊本地震 ロッキング橋脚を有する跨道橋の落橋(1/3)

⇒自立する橋脚に構造変更一冗長性を高める



落橋前



ロッキング橋脚は自立しない構造
⇒耐震性が低い構造

橋台における横変位拘束構造の破壊

ロックング橋脚の耐震補強の例(NEXCO西)(2/3)

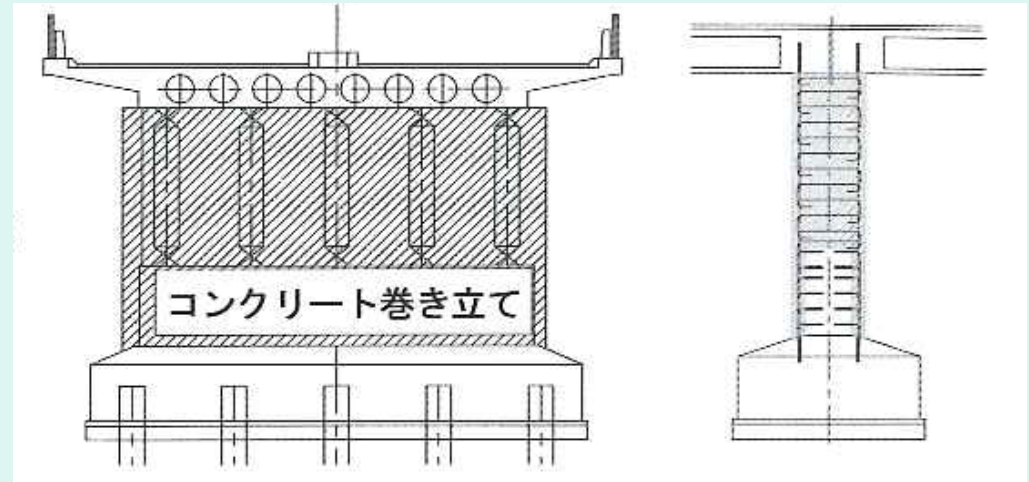


補強前



補強後(橋脚・基礎新設)

ロッキング橋脚の補強(東原橋)(3/3)



持続可能性を追求したリスクマネジメントの例:

洪水時不通のリスクを許容し、コスト低減を図る

ネパール国シンズリ道路(JICA無償案件)のコースウェイ



越流型(建設コスト低減)



ボックス型(維持管理コスト低減)

(日本工営新開氏提供)

岩国市錦帯橋のリスク対策の例：河床の洗掘対策



錦川は頻繁
に洪水が発生

四万十川 沈下橋の被害



(インターネットより)

道路橋示方書の適用

リスクマネジメント一般・リスク対策の例

超高難度の橋梁の設計施工例

優位性のある技術(リスクの低い技術)

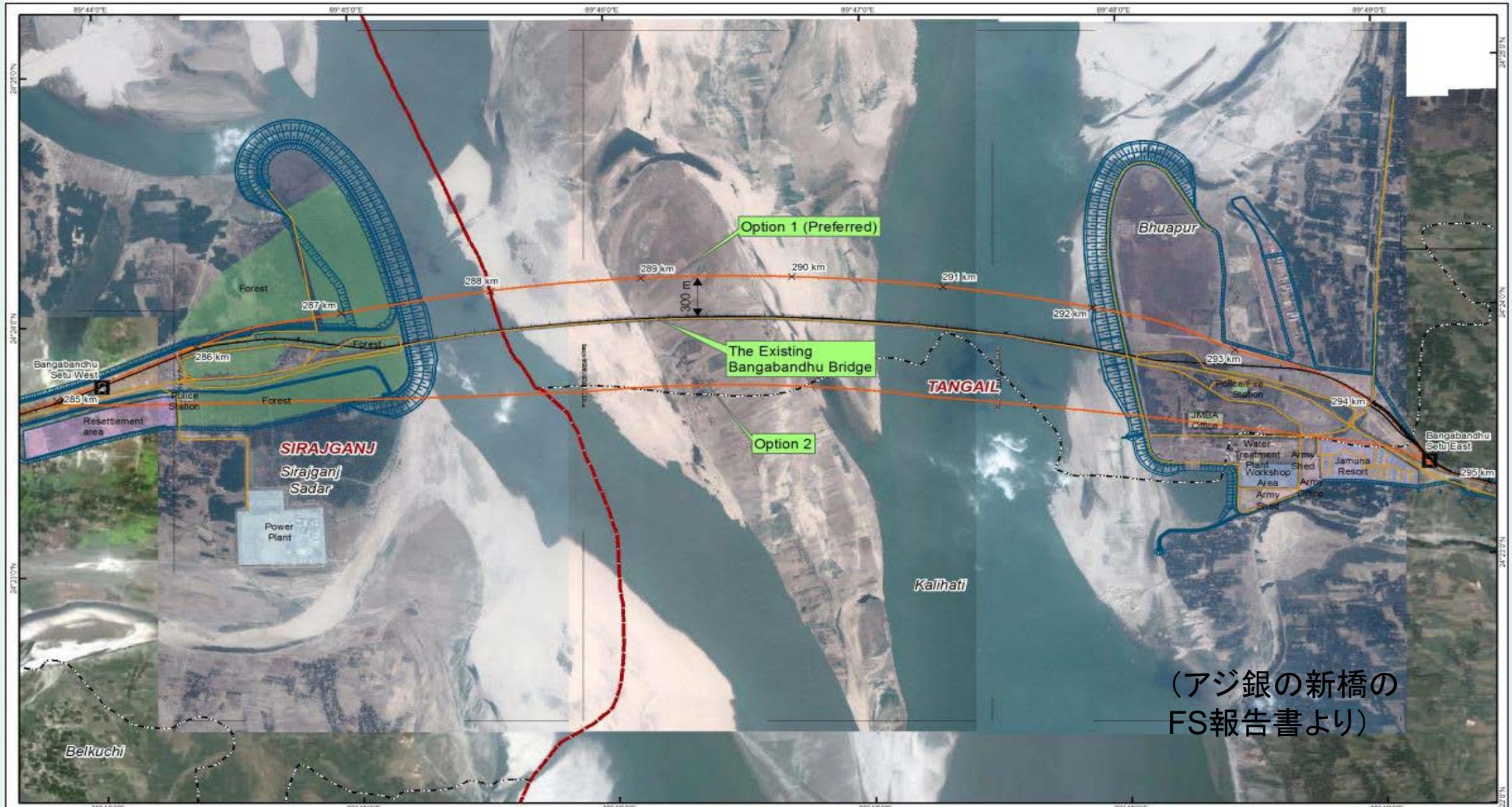
まとめ

超高難度の橋梁の設計施工例

バングラディッシュ国ジャムナ川に橋梁建設



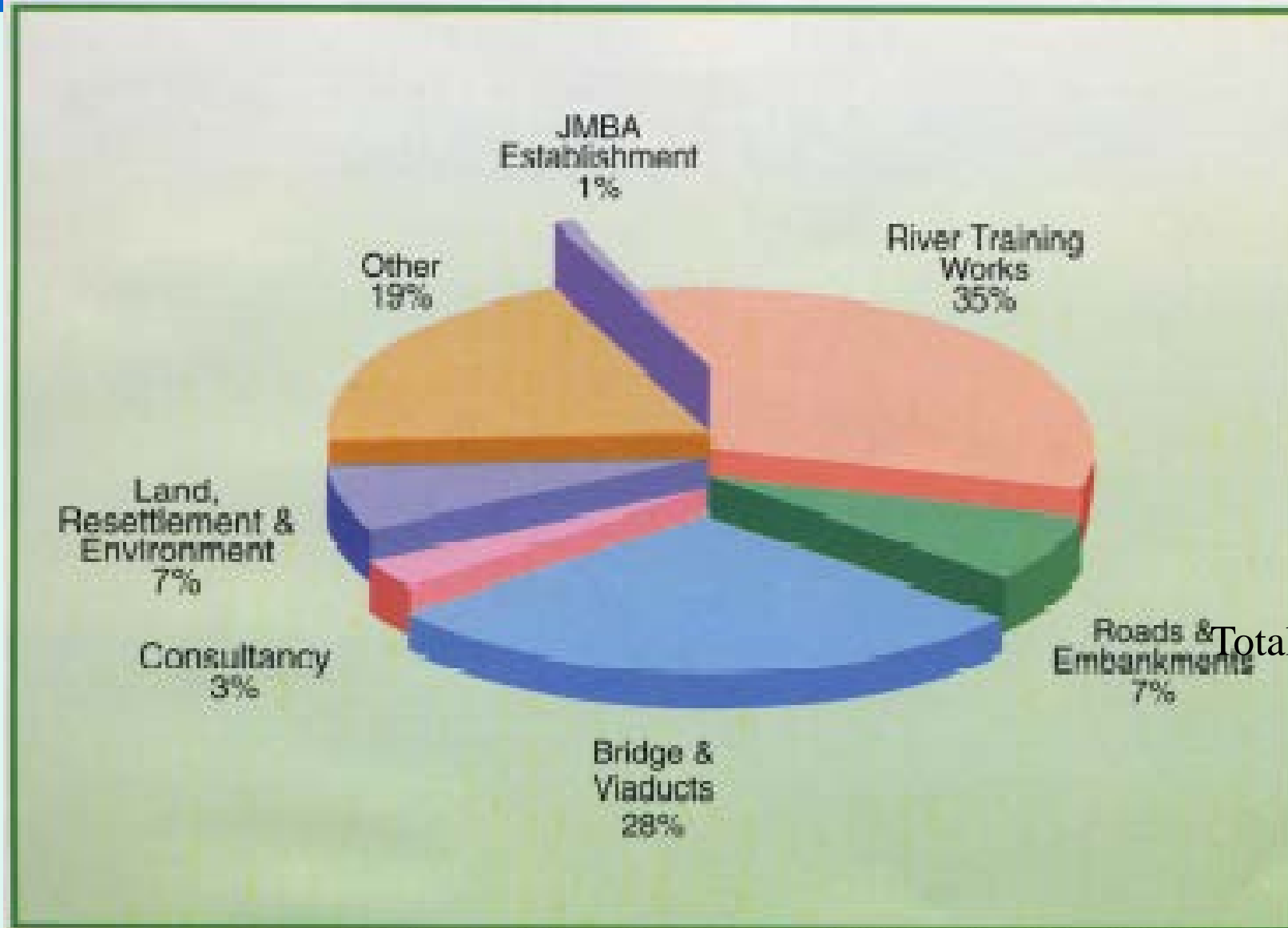
現橋ルートと新橋のルート(300m上流)



(アジ銀の新橋の
FS報告書より)

橋長: 4.8km、ガイド堤防(River Training Works): 片側約2km、上流部河川幅: 12~15

事業費の配分



Project cost : US\$ million

- Bridge : 269
- RTW : 323
- Roads etc : 71
- Consultants : 33
- Land etc : 67
- Other : 186
- JMBA : 13

Total: 962

河川制御工が大きな地位を占める

堤防建設のための浚渫と150万トンの捨石用砕石

River Training Works

- Designer : RPT - NEDECO-BCL
- Engineer : RPT - NEDECO-BCL
- Builder : HAM-VOA JV
- Contract : FIDIC3
- Cost : US\$ 323 million
- Duration : 37 months
- Completion : June 1997
- Vol of dredging : 26,500,000 m³
- Area of reclamation : 486 ha
- Tonnage of rock : 1,500,000 Tonnes
- Length of Guide Bunds :
 - ◆ East Guide Bund : 3.07 km
 - ◆ West Guide Bund : 3.26 km
 - ◆ Bhuapur hard point : 1.7 km
- Average Workforce No. : 2,050

Dredger at Work



ガイドバンド(堤防)の護岸工

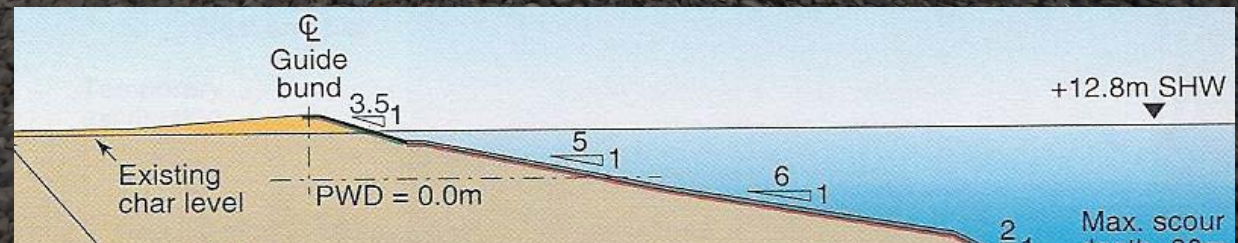


竹を編んだマットレスの上に捨石をし、上部はアスファルトを施工

河道安定のため両岸にガイド堤防を建設



河道を固定するため両岸に長大なRTM(堤防)が建設されている。護岸工は耐洗掘処理がされている



- Designer : Hyundai + TY Lin
- Engineer : RPT ~ NEDECO ~ BCL
- Builder : Hyundai Engineering and Construction Joint Venture
- Contract : FIDIC3
- Cost : US\$ 269 million
- Duration : 49 months
- Completion : June 1998



- Bridge Length : 4,800 m
- Viaduct Length : 2x128 m
- Piling :
 - Total Tonnage : 34,000 Tonnes
 - Total Number : 121 (2.5m Dia Piles : 63, 3.15m Dia Piles : 58)
- Pile Caps & Pier Stems :
 - Total Number : 49 each
- Deck Segments
 - Total Weight : 176,000 Tonnes
 - Total Number : 1257
- Concrete :
 - In-situ : 66,000 cu m
 - Precast : 118,000 cu m
- Average Workforce : 2,250

打設された直径2.5mの鋼管杭



パイルキャップ



道路・鉄道・電力・ガス・通信多目的橋：
橋の建設期間：1994～98
水位は最高水位に接近(2015.7に撮影)

(円借款により)建設予定のジャムナ川新鉄道橋の技術的リスク

橋梁の設計施工における技術的リスク:

- 洪水により河道の位置が大きく変化
- 最大洗掘深さは推定45m程度と極めて大きい
- 20~30km近傍でマグニチュード7程度の地震発生
- 河床から15~20mの深さまでの地層が地震時に液状化
- 良質な支持層(洪積層)は深さ60~70m以上

新鉄道橋の事業実施予定:

2016.8~2018.12 コンサル業務

2019.1~2023.12 本体工事

道路橋示方書の適用

リスクマネジメント一般・リスク対策の例

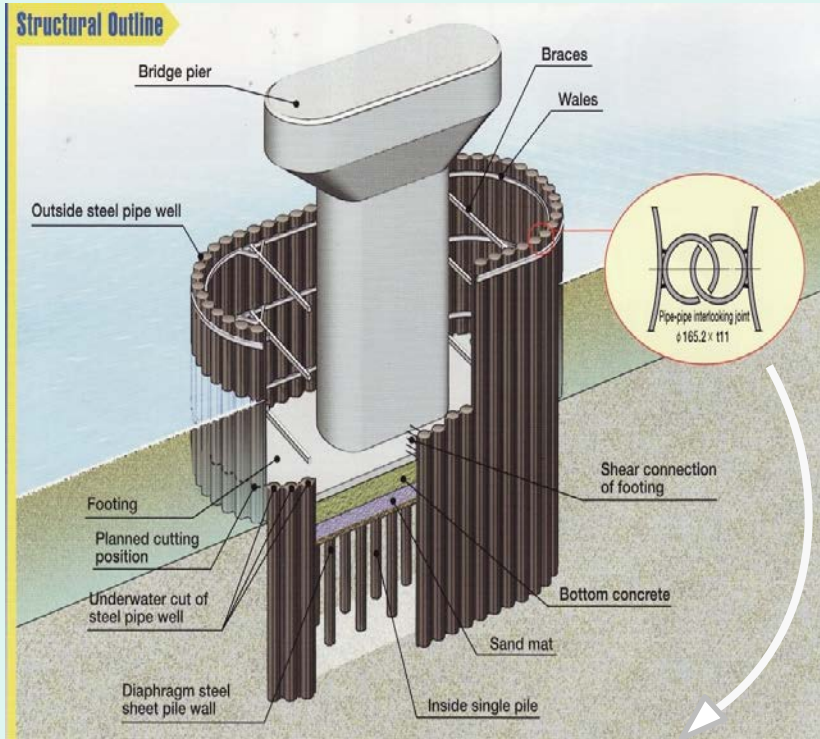
超高難度の橋梁の設計施工例

優位性のある技術(リスクの低い技術)

まとめ

優位性のある技術①:

鋼管矢板基礎—仮締切兼用工法



特徴:

- ①コスト低減と工期短縮
- ②基礎の平面寸法を小さくできる
- ③耐震性が高い
- ④深い支持層・水深に対応できる
- ⑤仮締切兼用工法ができる

施工順序



杭の打設



継手処理



井筒内掘削



スタッド溶接

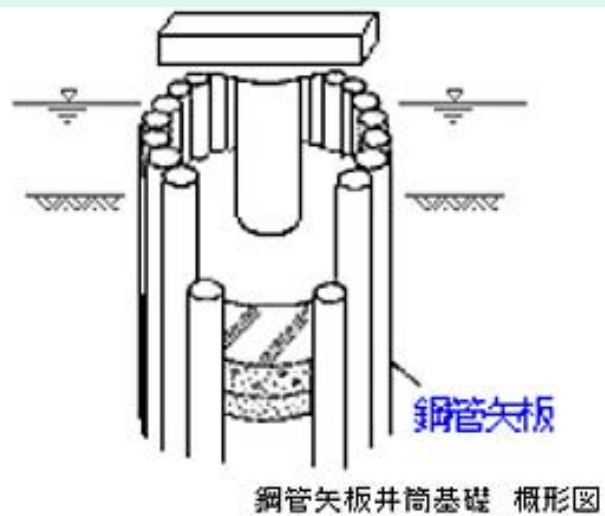


頂版の配筋



コンクリートの打設

ベトナム ニャットン橋



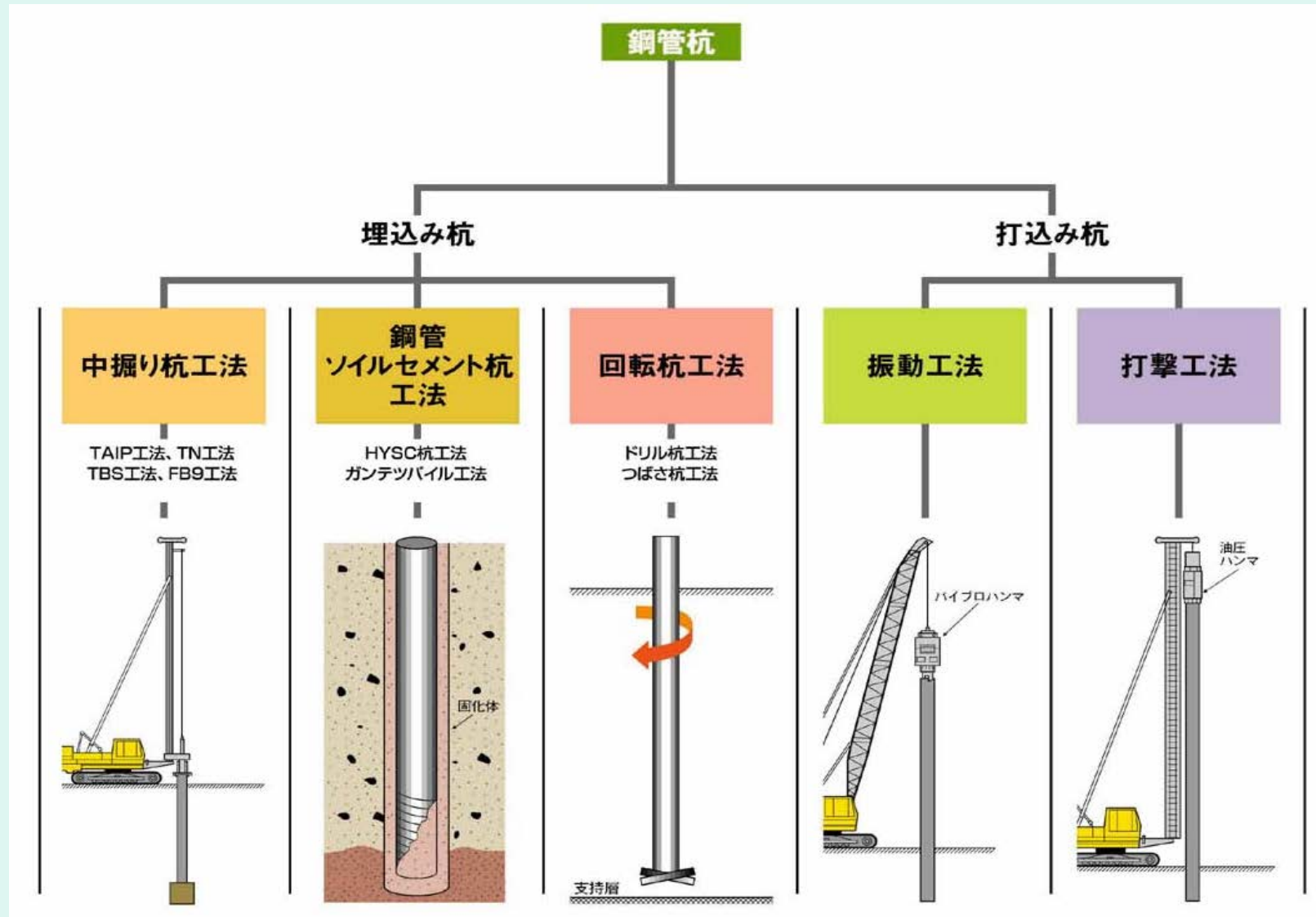
鋼管矢板井筒基礎 概形図



採用された井筒基礎の一例

写真提供：三井住友建設（株）

優位性のある技術②: 高支持力杭工法



回転杭の種類

土木技術審査証明取得工法



NSエコパイル



つばさ杭



ジオウイングパイル

先端部の羽根により先端支持面積が拡大され大きな支持力が期待できる

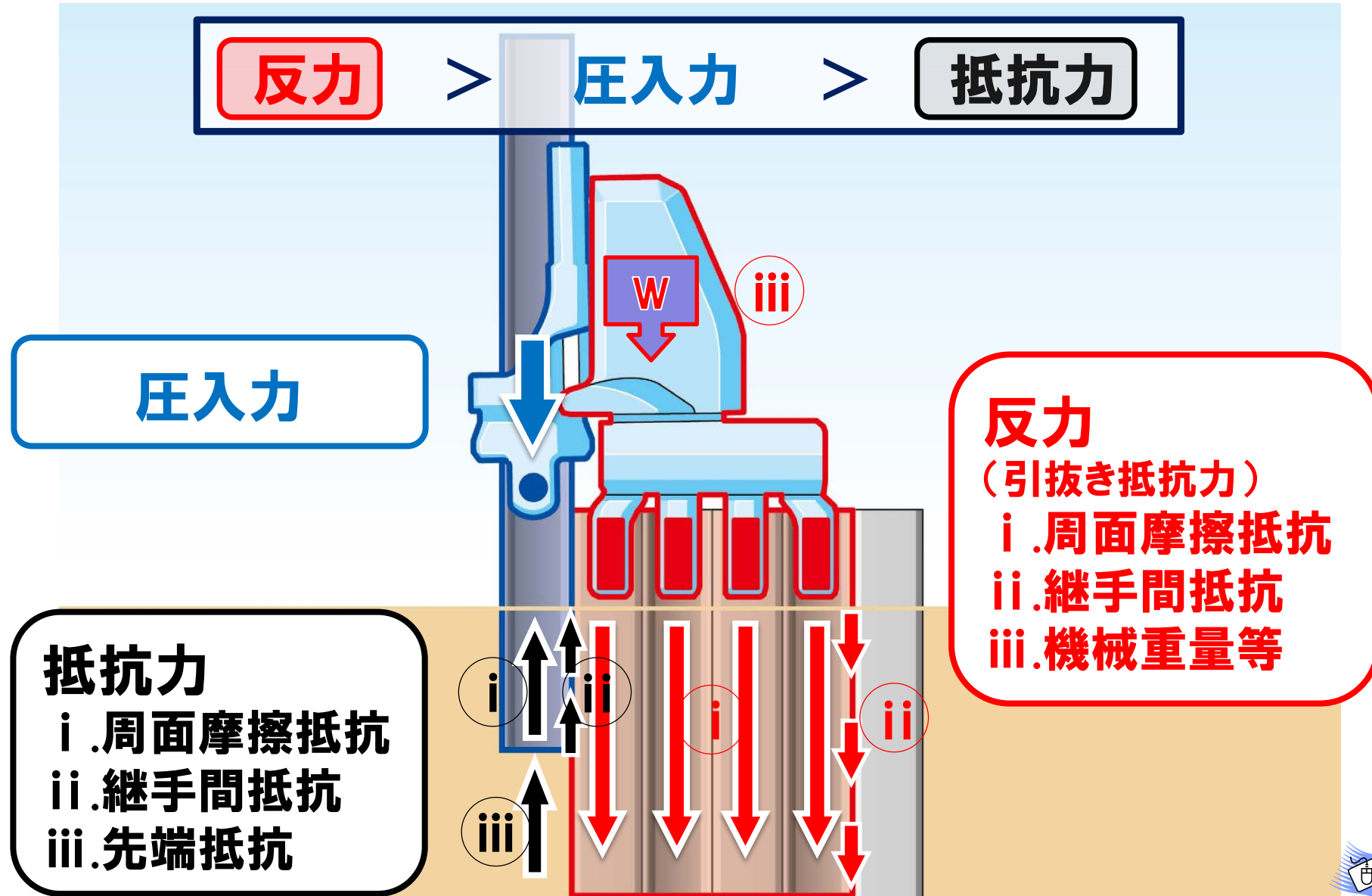


一回転杭の特長(斜杭施工)



斜杭施工の例(Φ800mm、傾斜角15度)

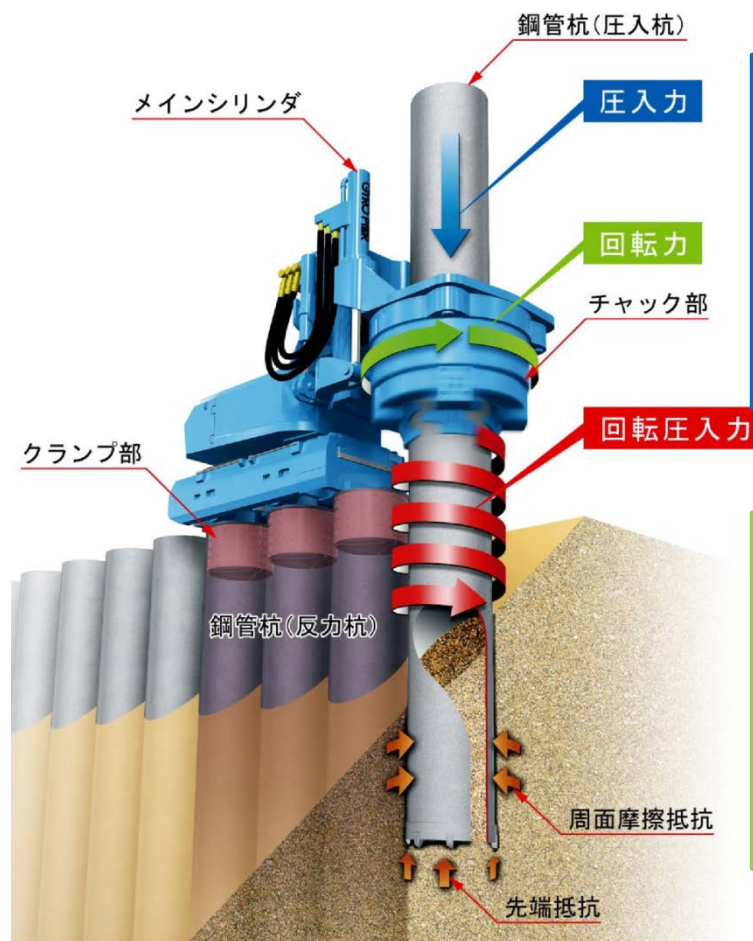
サイレントパイラーによる圧入工法のメカニズム



回転切削圧入（ジャイロプレス工法）



鉄筋コンクリートを切削貫通



圧入

- ・無振動、無騒音施工
- ・機体の安定性(転倒しない)
- ・機体の機動性(小型、自走)
- ・高い精度で施工

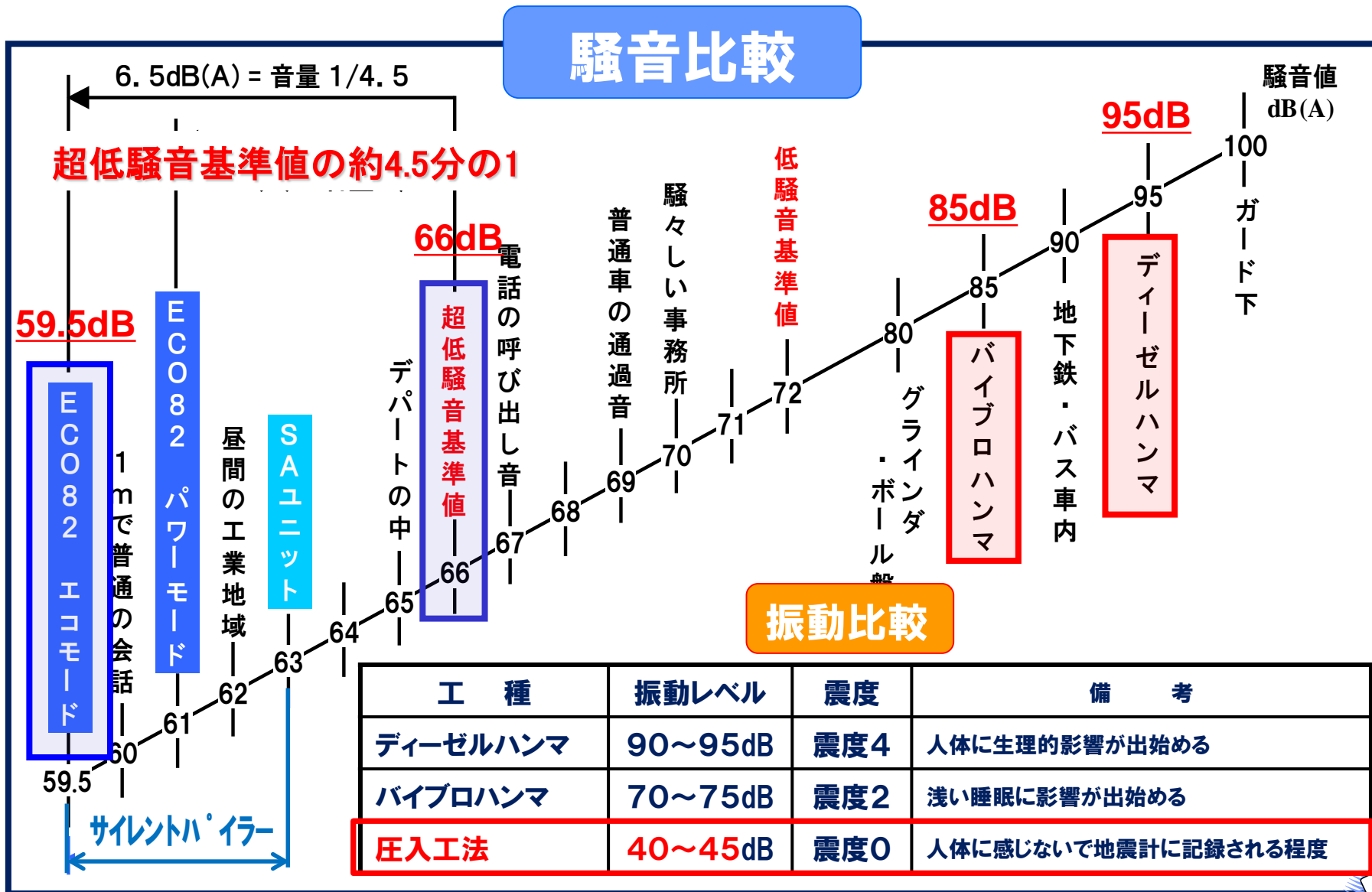
+

回転

- ・周面摩擦抵抗の低減
- ・先端抵抗の軽減
- ・杭の変形や偏心を抑制
- ・地中障害物の切削



騒音・振動(環境性)



優位性のある技術：耐候性鋼材④

＜概要と効果、国内での使用実績＞

【概要】

Cu、Cr、Ni等の合金元素を含有し、大気中での適度な乾湿の繰り返しにより、表面に**安定さびを生成させることで、さびの進展を制御する鋼材**

【国内での使用実績】

- ・1980年頃から増加
- ・至近では、年約10万トン

鋼橋全体の20－30%の重量比率

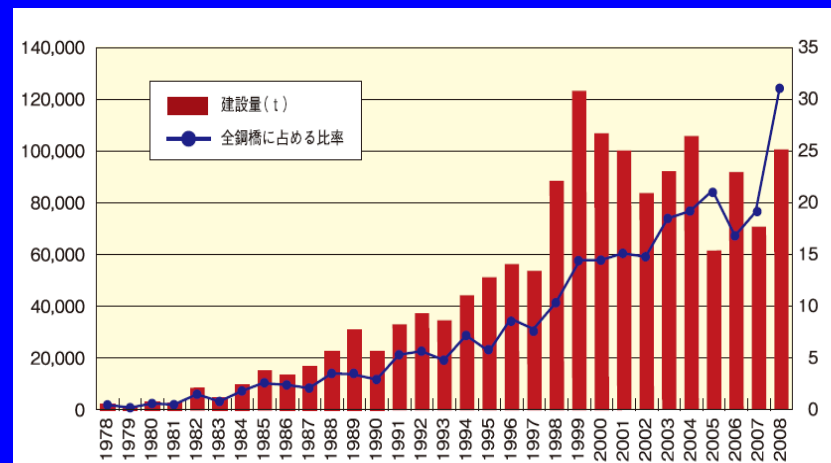
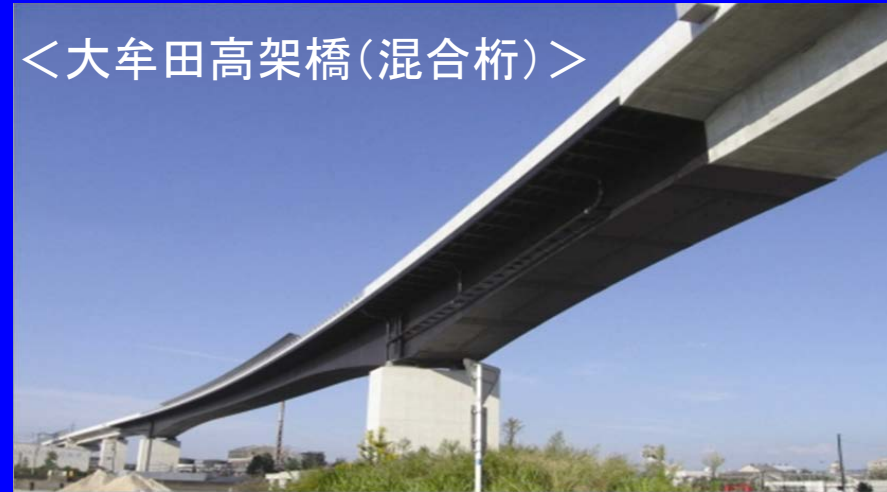
【メリット】

- ・LCC低減

塗装塗替約35年に対して

耐候性鋼材の耐久性約200年

＜大牟田高架橋（混合桁）＞



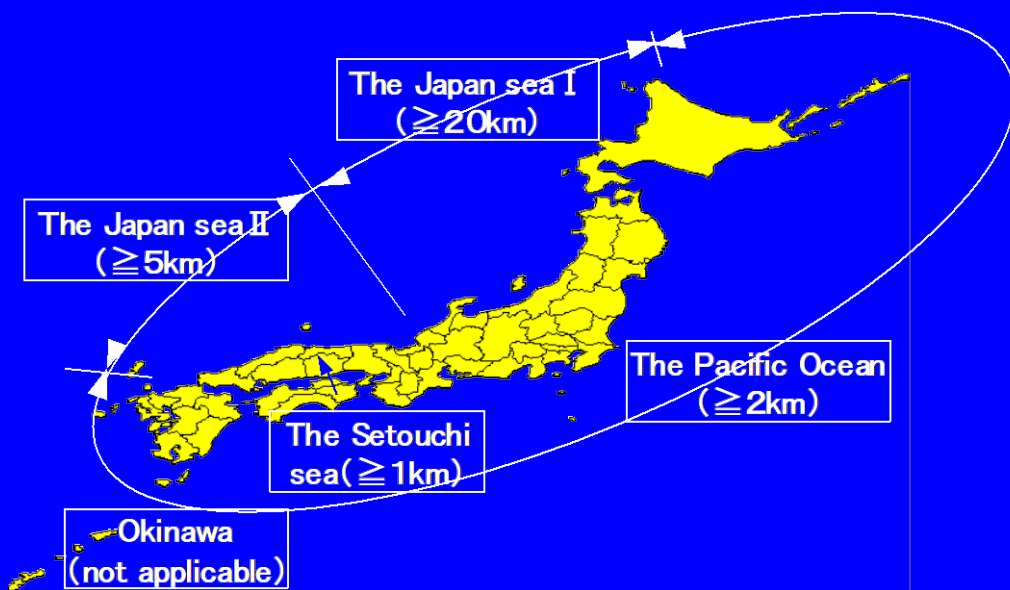
Researched by Japan Bridge Association

耐候性鋼材の適用

＜国内独自の適用基準とニッケル系高耐候性鋼＞

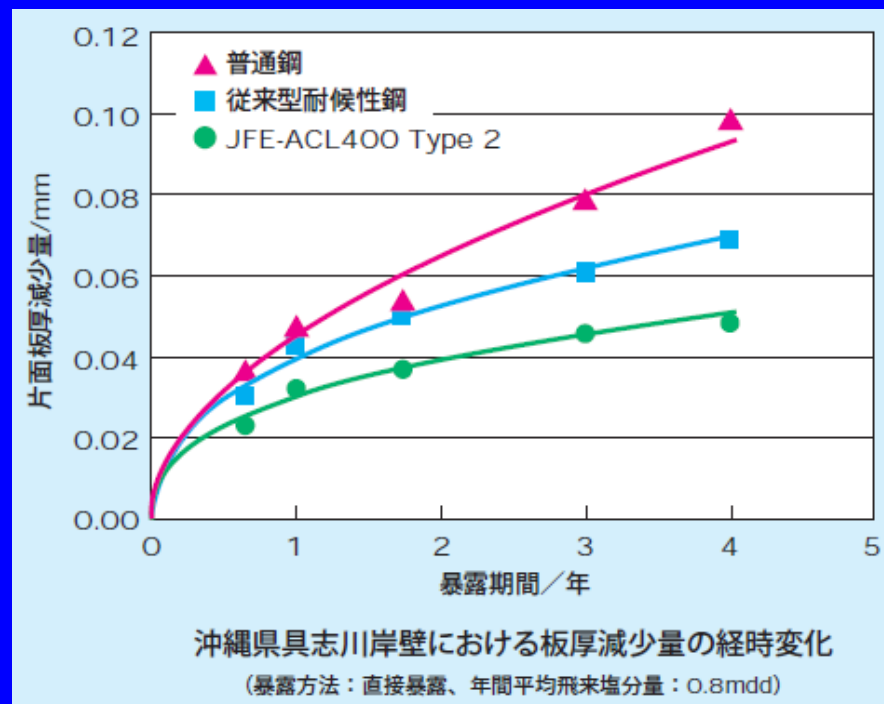
【国内独自の適用基準：JIS耐候性鋼】

- ・ 建設省、日本橋梁建設協会、現日本鉄鋼連盟が約10年にわたる暴露試験を全国で実施
- ・ 耐候性鋼適用基準として地域適用区分をまとめる→道路橋示方書
- ・ 裸仕様の飛来塩分限界値を0.05mddと規定



【ニッケル系高耐候性鋼】

- ・ 主にニッケルを多く添加(1~3%)し、耐塩分特性を高めた耐候性鋼材



道路橋示方書の適用

リスクマネジメント一般・リスク対策の例

超高難度の橋梁の設計施工例

優位性のある技術(リスクの低い技術)

まとめ

発注方式におけるリスクの特徴

➤ 設計施工分離方式

⇒設計の完全性について発注者が暗黙の保証をしているとみなされ、発注者に設計の不完全性のリスクがある。

⇒請負者は示された設計に不完全性を見つければ、それを発注者に設計変更させることができる

➤ デザインビルド方式

⇒発注者に設計の完全性に対する保証義務はない。(発注者から設計の不完全性のリスクを低減する)

⇒設計を委ねるため発注者の意図が反映しにくいリスクがある。(発注段階で明示しにくい設計がある)

□ 両方式のリスクを顕在化させないため、**ハイブリッド方式(ブリッジング)**が英米で行われている

⇒第1段階でコンサルタントが一部設計を行い、第2段階でデザインビルド方式で発注して、請負者が残りの設計と工事を行う。

デザインビルドに適した事業

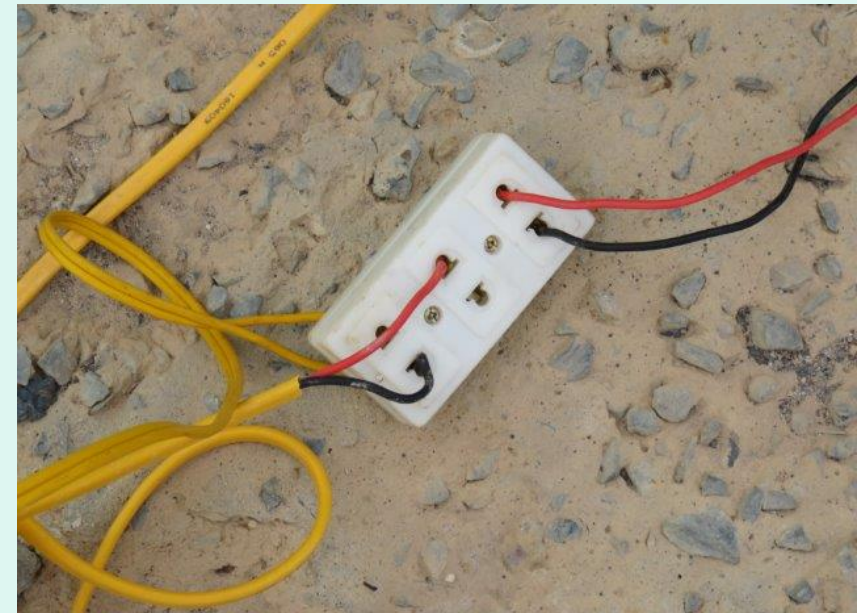
- 工期の短縮が求められている
- 用地取得が少ない
- 事業スコープが明確になっている
- 設計施工に革新的な技術の活用余地がある
- 予見不能なリスクが低い
例えば、地盤リスクなど
- 大きな変更の可能性が低い
例えば、橋梁、建築物、道路拡幅など

大規模橋梁の補修、山岳部の道路建設などは、リスクが高いので設計施工分離が適する

海外橋梁建設における主な設計施工リスク

- **総価契約・設計施工一式契約**における設計(数量)変更のトラブル
- **発注者からの工事用地引き渡しの遅れ**(追加費用の回収のトラブル)
- 本来気象など自然現象に起因する不可抗力のリスクは発注者が負担するが、契約でそれが明記されていないことがある⇒**請負者に過度なリスク負担が生じる恐れ**
- **地盤データ不足など不適切な設計による施工トラブル**
- **ローカルの下請け業者による施工不良**

施工不良の例：
差し込みプラグを省略して
コンセントに接続



リスク管理のまとめ

- リスクマネジメントと危機管理は異なる。想定外リスクには危機管理で対応。
- 基準を適用すると設計施工のリスク低減になる。(特に海外工事で)適用を誤ると逆にリスクを高める。
- 致命的な被害を避けるため、冗長性を高めることが必要。
- 海外建設工事は事故・トラブルが多いのでリスク対策は不可欠。
特に契約、地盤調査、施工管理に起因するリスクが多い。
- 設計施工分離方式では設計に不完全性があれば設計変更が可。デザインビルド方式では原則設計変更は不可。
- 持続可能性からリスク対策は決定される。開発途上国では高価なリスク対策は採用されない。
- 優位性のある技術は、一般にリスクマネジメントの観点からも優位性がある

ご紹介：鋼管杭施工管理士資格

- **鋼管杭施工管理士資格試験を平成30年度から実施**
- 資格対象者：鋼管杭工事管理者の技術者・技能者、その他元請技術者・設計者
鋼管杭施工・施工管理のエキスパートと位置付ける
- 受験資格要件：実務経験として、基礎工事に関わる職務経験有するものとする。
ただし鋼管杭・鋼管矢板の工事を一件以上（鋼管杭講習会の受講でもよい）含む

- **鋼管杭講習会は平成29年度から実施**
平成29年12月3日 東京で
平成30年1月21日 大阪で

- 実施機関：(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会、(一社)全国基礎工事業団体連合会
(一社)全国圧入協会



ご清聴ありがとうございました

(足立美術館)