

コンクリート構造物のメンテ ナンス

(開業後 1 5 4 年の鉄道の経験から)

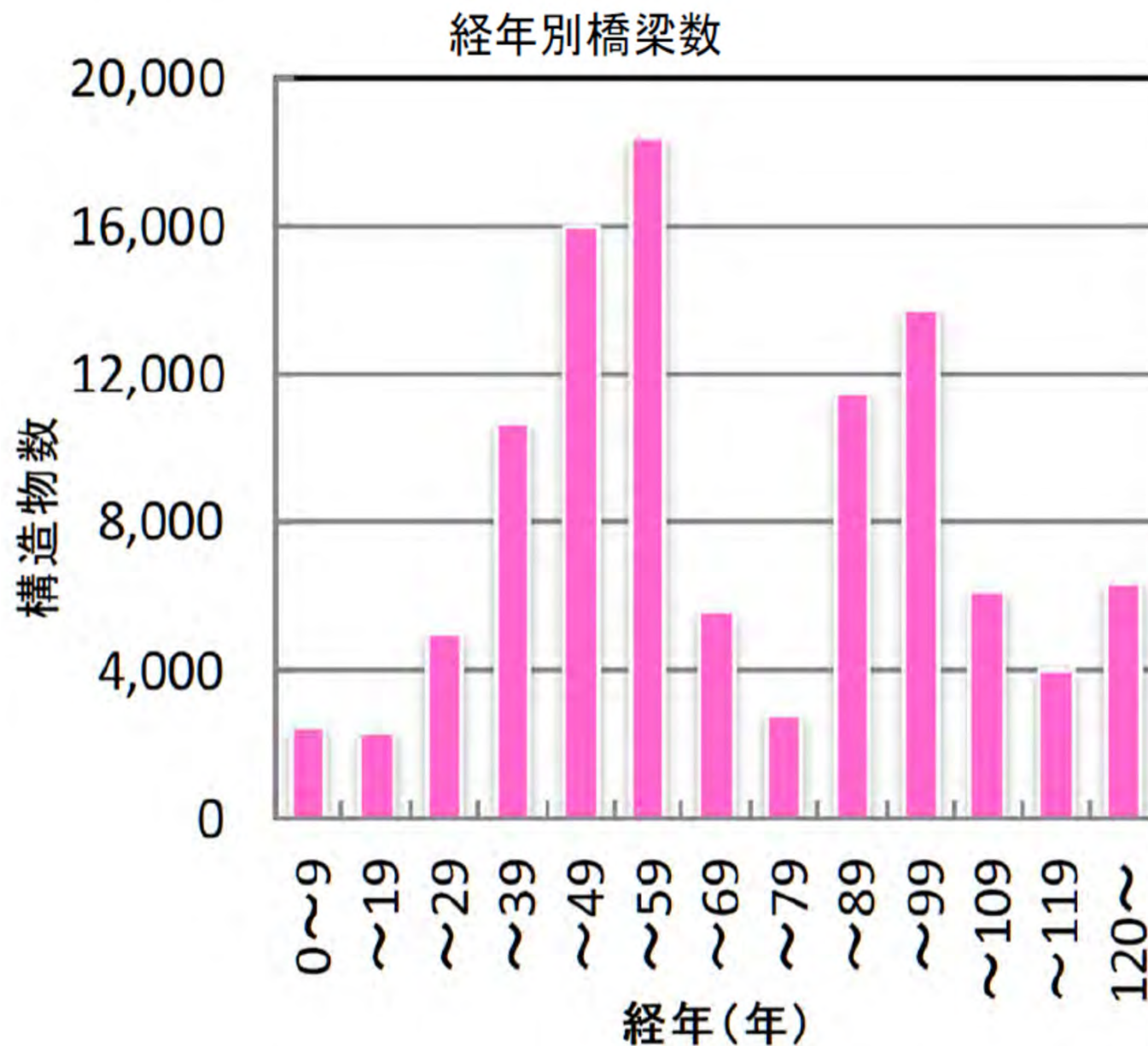
石 橋 忠 良

報告内容

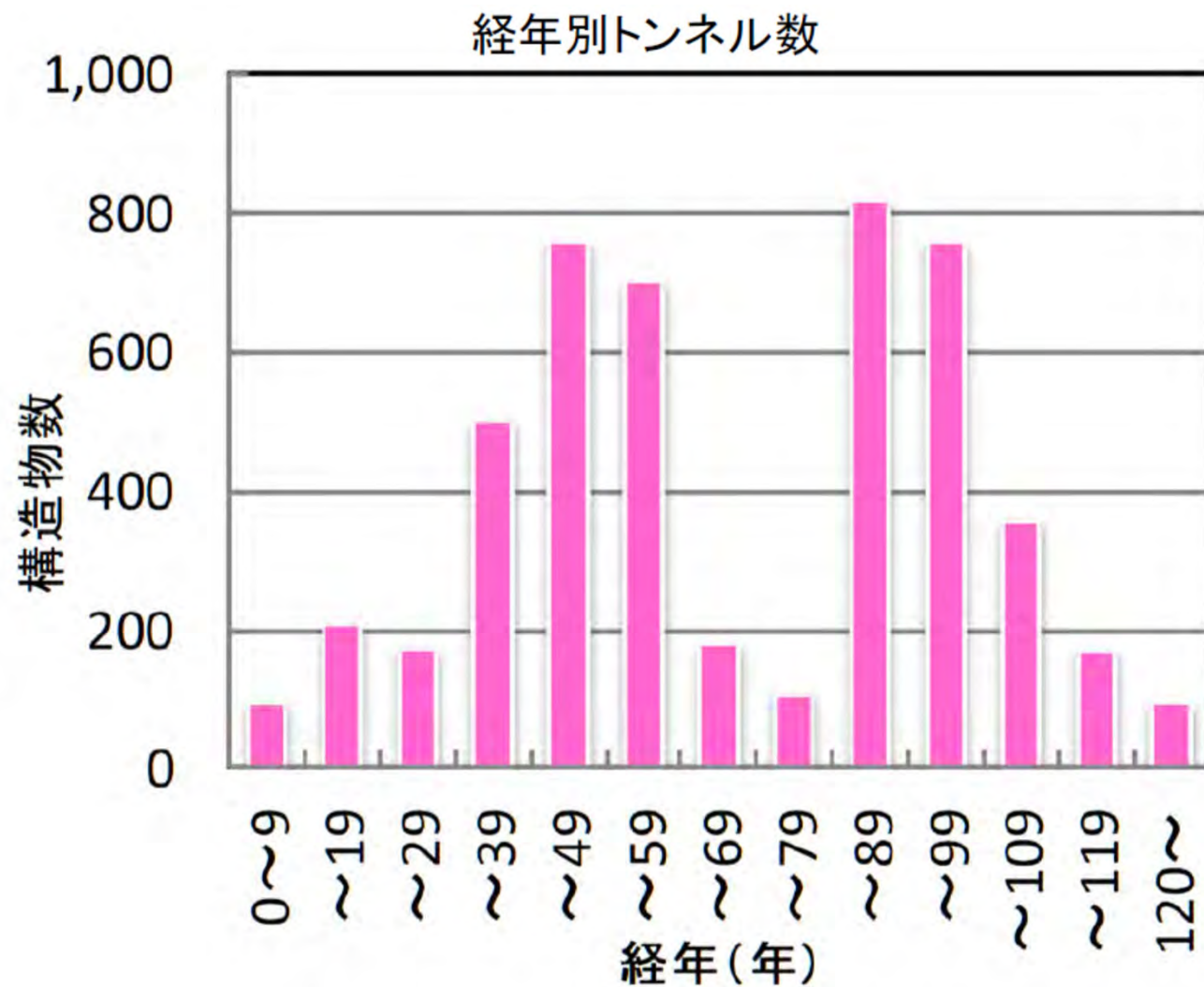
1. 鉄道構造物の経年
2. 主な変状事例と対策
 - 2.1 コンクリート片の剥落
 - 2.2 アルカリシリカ反応
 - 2.3 塩害
 - 2.4 凍害
 - 2.5 桁座、支承部
 - 2.6 P C鋼材破断、グラウト不良
 - 2.7 鉄筋圧接、鉄筋曲げ戻し
 - 2.8 地震災害と対策
 - 2.9 火災
3. メンテナンスに必要な設計の知識
4. まとめ

1. 鉄道構造物の経年

**多くの構造物は100年以上の
耐久性を持つと思われる**



2020年 インフラ健康診断書鉄道部門（土木学会）より



2020年 インフラ健康診断書鉄道部門（土木学会）より

JR中央線神田駅付近RC高架橋



1919年完成(RC高架橋だが、レンガで化粧されている)

経年: 107年

JR京浜東北線 神田・秋葉原間ラーメン高架橋



1925年完成(RCラーメン高架橋)

経年:101年

JR内房線 江見・太海間山生橋りょう



1920年完成(日本初の本格的なRC鉄道橋りょう)

経年:106年



JR左沢線最上川橋梁(イギリス式ピントラス)

Patent Shaft & Axletree社 1886年製作 153ft(46.7m)

錬鉄製のため加熱短縮に適さない

経年:140年

JR羽越本線 越後寒川・勝木間寝屋トンネル (コンクリートブロック造トンネル)



覆工状態



1924年建造 全長:263.24m
経年:102年



東海道線 清水谷戸トンネル（左） 1887年
経年139年

信楽高原鉄道 第一大戸川橋梁



- ・昭和**29**年（**1954**年）の
P C 桁 (**経年 7 2 年**)
- ・スパン：**30**m





JR 東京ー新橋レンガアーチ高架橋
1910年（**経年115年**）

変状。劣化には原因がある

- 施工時の管理不十分、
- 建設時点の設計や材料についての知識不足や配慮不足など

が構造物の変状の主な原因で、時間の経過で、自然に劣化するのではない。

2. 主な変状事例と対策

2.1.1 コンクリート片の剥落 (高架橋)

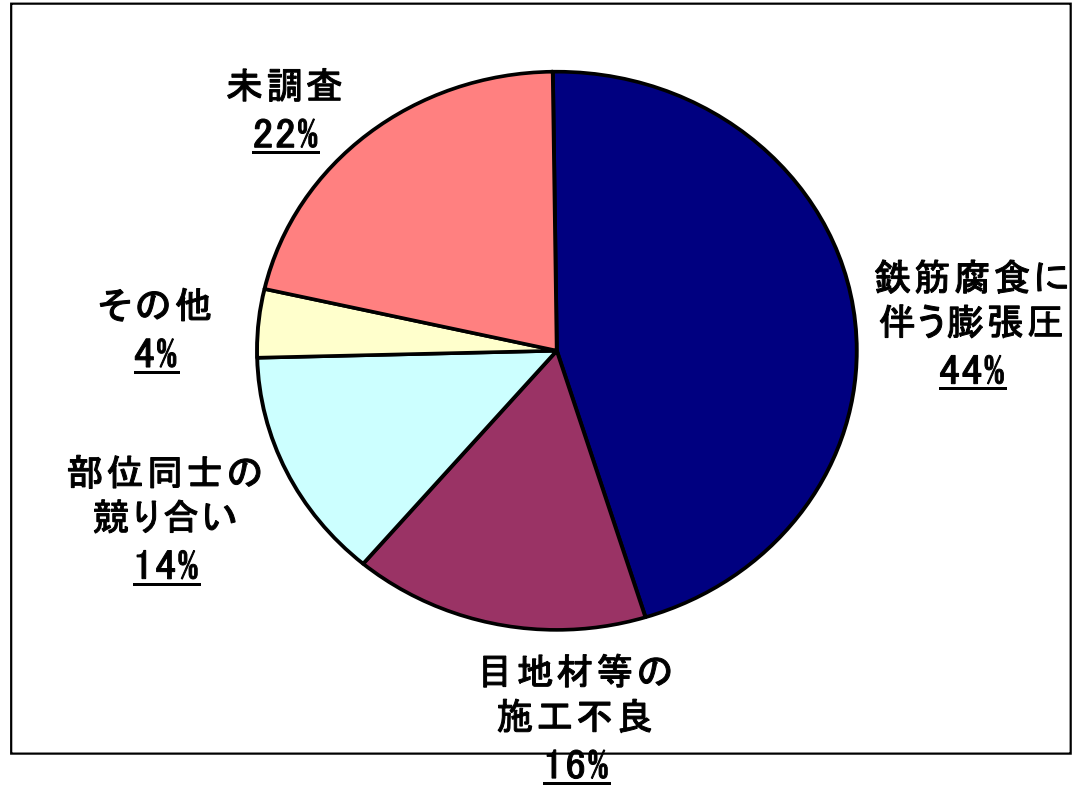
原因の多くは鉄筋の腐食膨張

コンクリート片の剥落



コンクリート片の剥落原因

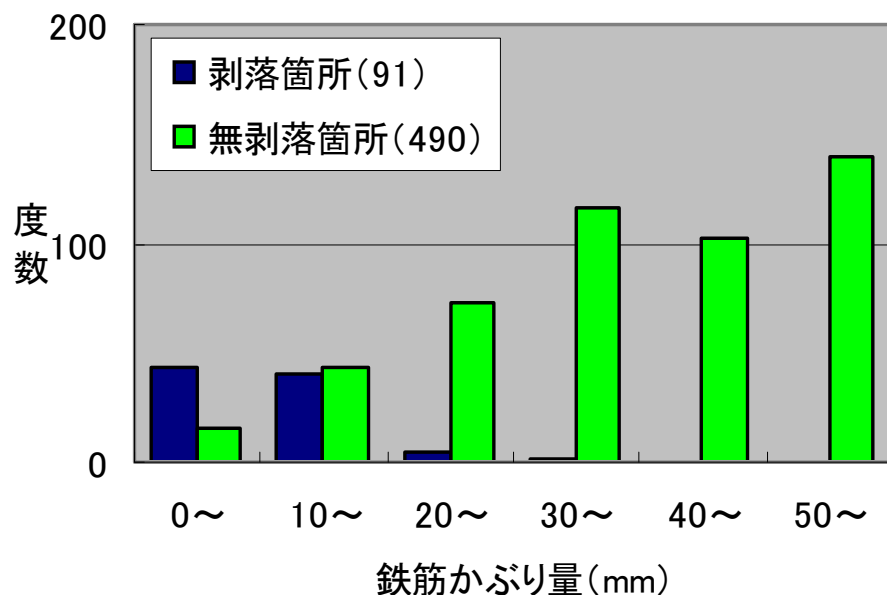
コンクリート片剥落原因（1999.7～2001.1）



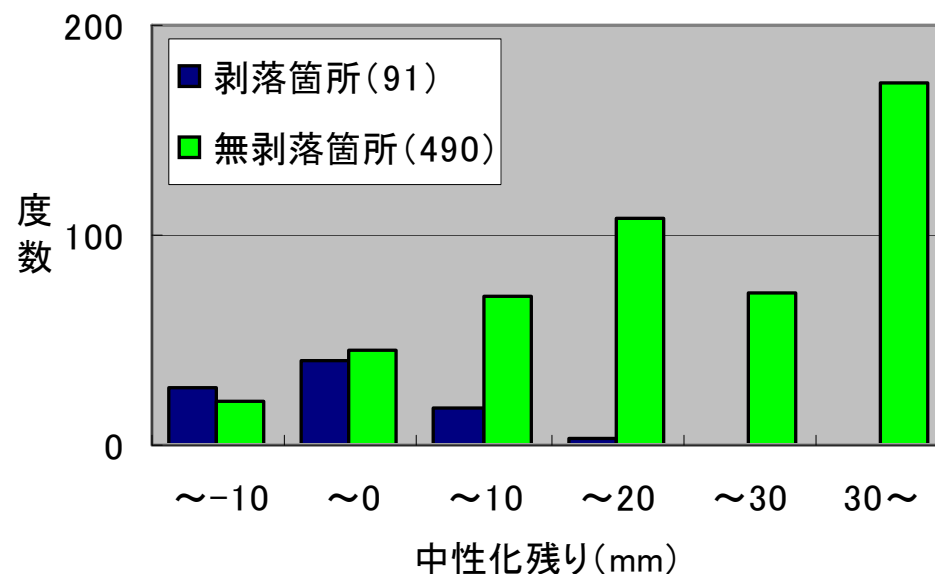
鉄筋腐食に伴う膨張圧

コンクリート片の剥落と鉄筋かぶり量・中性化残りとの関係

コンクリート片剥落と鉄筋かぶり量



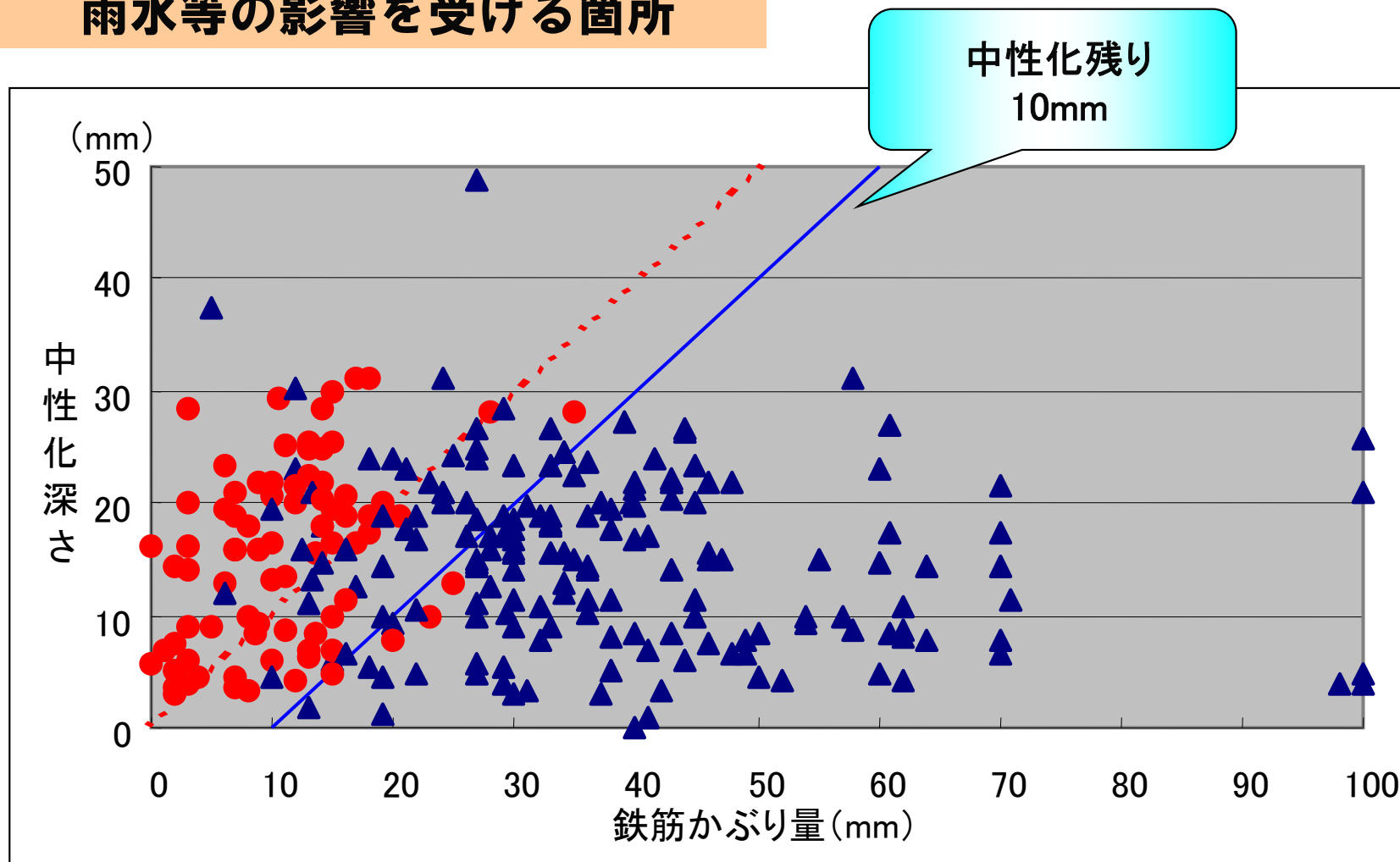
コンクリート片剥落と中性化残り



**コンクリート片剥落箇所は、かぶり、中性化残りとも
極端に小さくなっている**

コンクリート片の剥落と 中性化残り・雨水等の影響

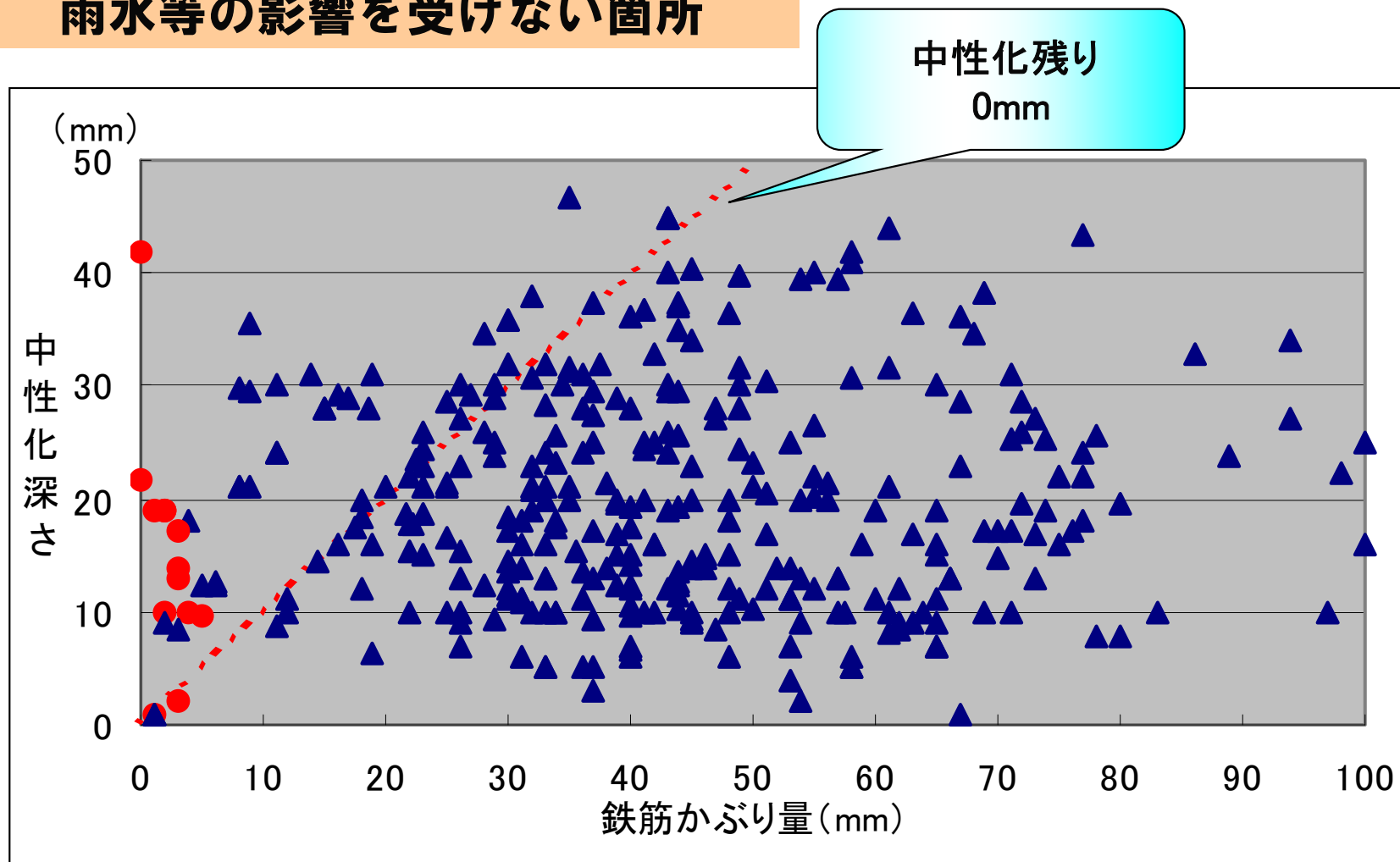
雨水等の影響を受ける箇所



● コンクリート剥落箇所
▲ コンクリート無剥落箇所

コンクリート片の剥落と 中性化残り・雨水等の影響

雨水等の影響を受けない箇所



- コンクリート剥落箇所
- ▲ コンクリート無剥落箇所

コンクリート片の剥落は雨水等と、かぶり不足が原因



張出しスラブ下面
(左：水切りなし、右：水切りあり)



桁受け部の柱

雨水等の影響を受ける箇所で
コンクリート片の剥落が生じている

剥離・剥落対策工

・・・表面被覆工（メッシュ入り）



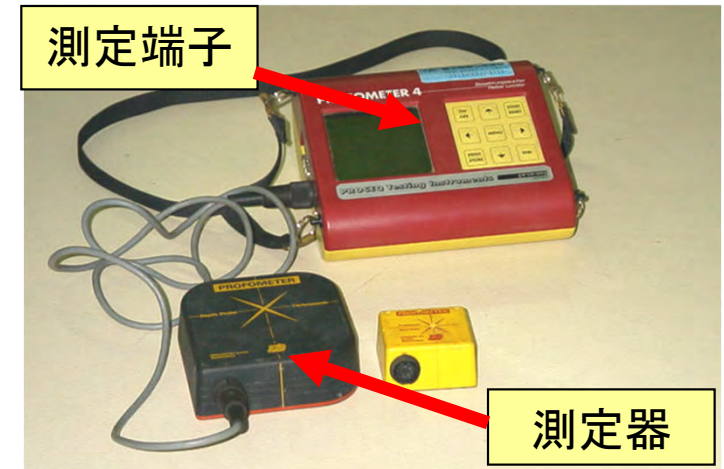
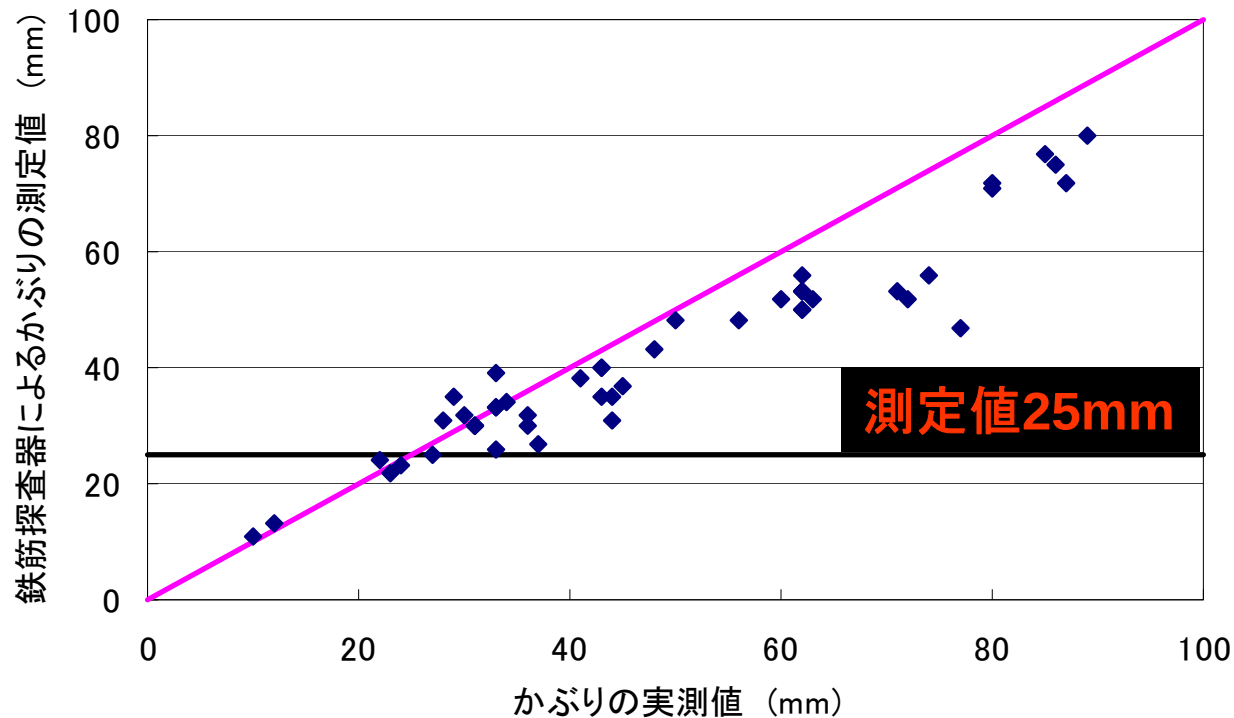
《高欄・張出しスラブ下面での表面被覆工法》

○表面被覆工法:

- ・実績のある表面被覆工法の中で10年以上機能を果たしている工法を採用
- ・それ以外の工法:
10年以上の品質保証、表面被覆工法の規格などを満足することが条件

建設時の対策に鉄筋かぶりの検査をルール化

鉄筋探査器によるかぶりの非破壊検査



非破壊検査においては、測定機の精度を
勘案して判定基準値を設定すること。

(ex.新設時はプロフォメータの場合25mm未満で不合格)



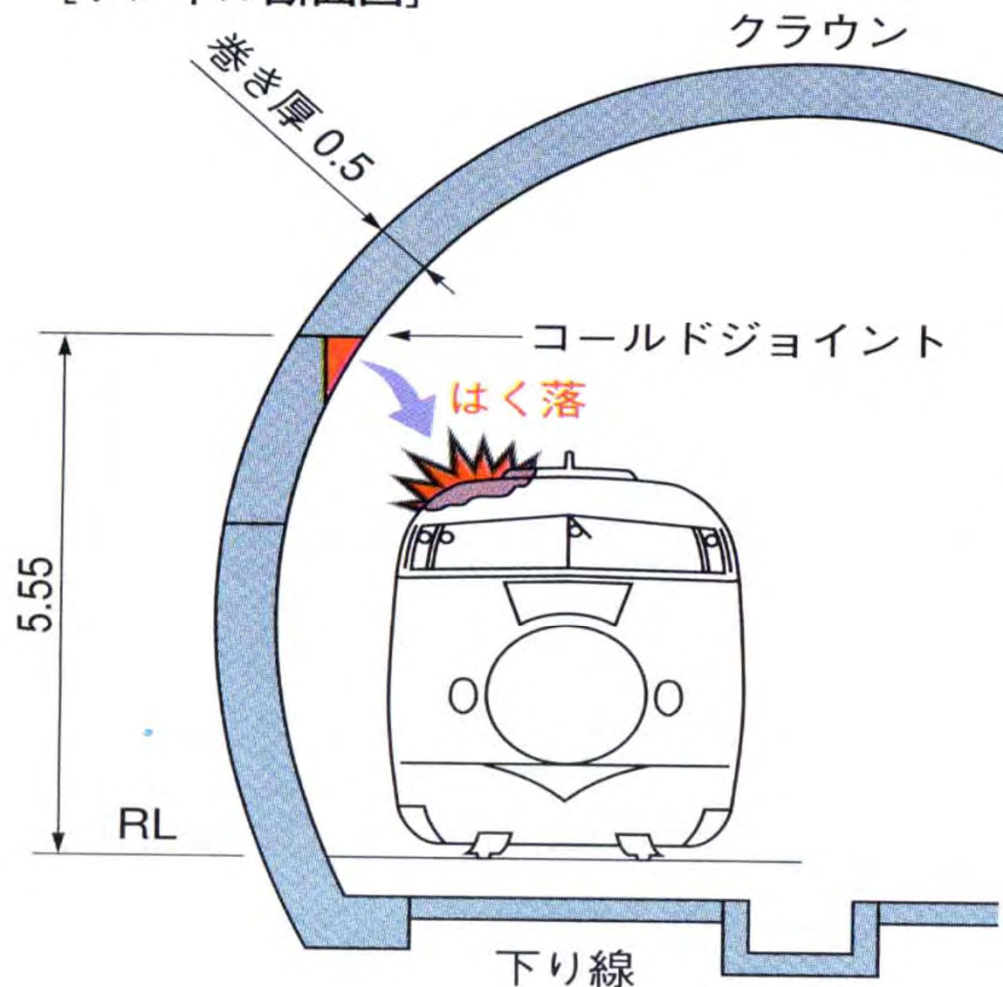
2.1.2 トンネルのコンクリート ト片の剥落

**(NATM工法以前のトンネルは
コンクリートの施行が難しい)**

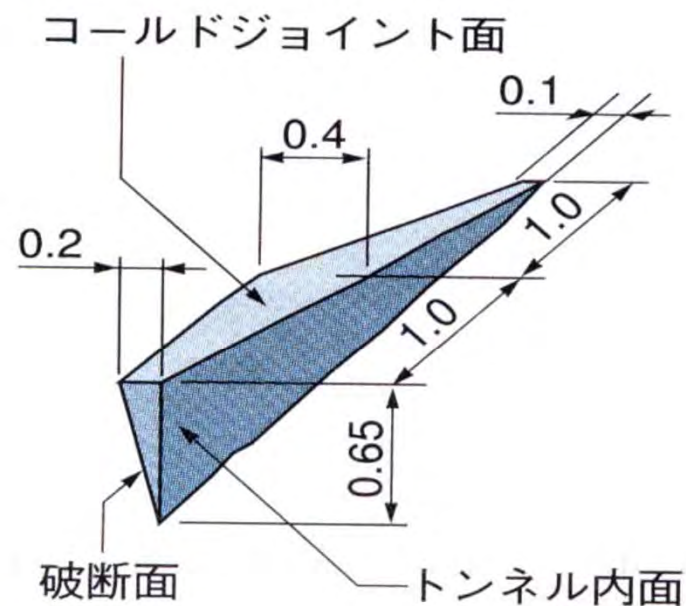
覆工コンクリートの コールドジョイント部の剥落事故

●コンクリートはく落部分の概要

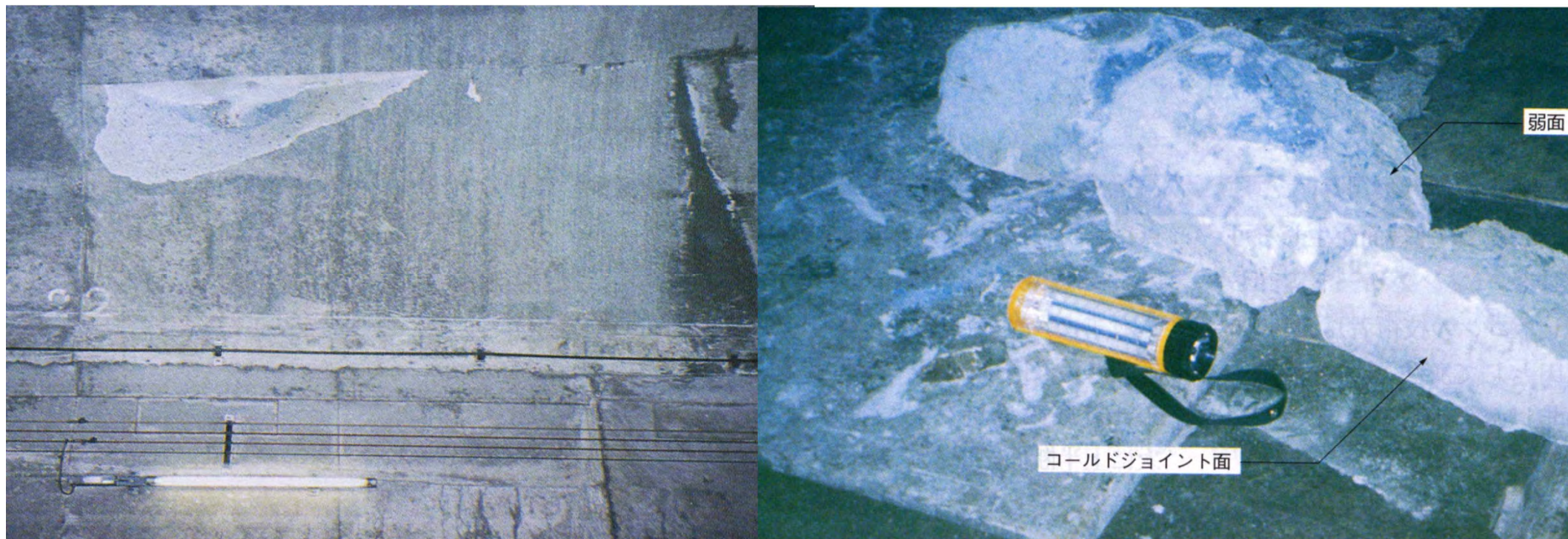
[トンネル断面図]



[はく落部分の形状]



覆工コンクリートの コールドジョイント部の剥落事例



覆工コンクリートの剥落事例

トンネルせめ部の剥落（下部をあとから施工）



トンネルのコンクリート剥落

覆工背面の空洞（天井部のコンクリートの施工は難しい）



トンネルのコンクリートの剥落

覆工背面の空洞



剥落防止対策

繊維貼付工法、吹付け工法、空洞部への填充



AAA工法



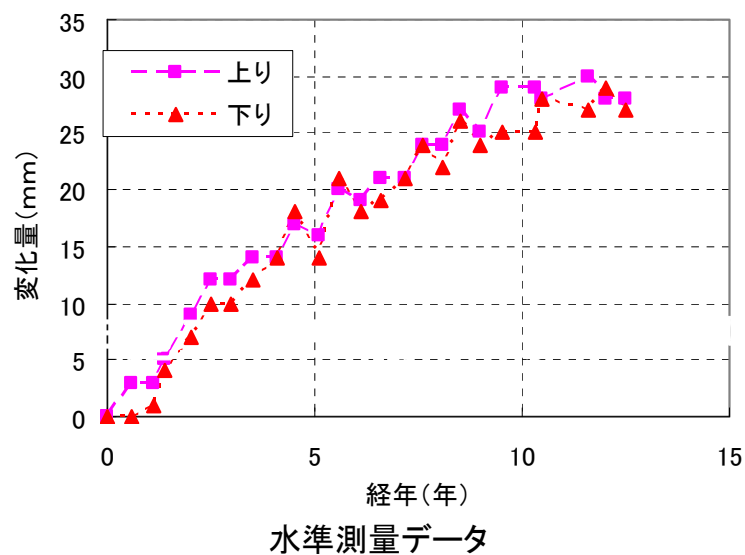
SANショット工法

2.2 アルカリシリカ反応

新設の場合は混合セメントを用いることが対策として一番容易である

既設RC構造の場合は、コンクリートが剥落するほどまで劣化が進行しなければ構造部材の耐荷力は維持できている

アルカリシリカ反応による劣化事例 (桁の反り、ひび割れ)



PC桁の反り（桁上面が滞水）

高架橋の柱のひび割れ

アルカリシリカ反応による劣化事例（ひび割れ）



RCの壁



PC桁の上面

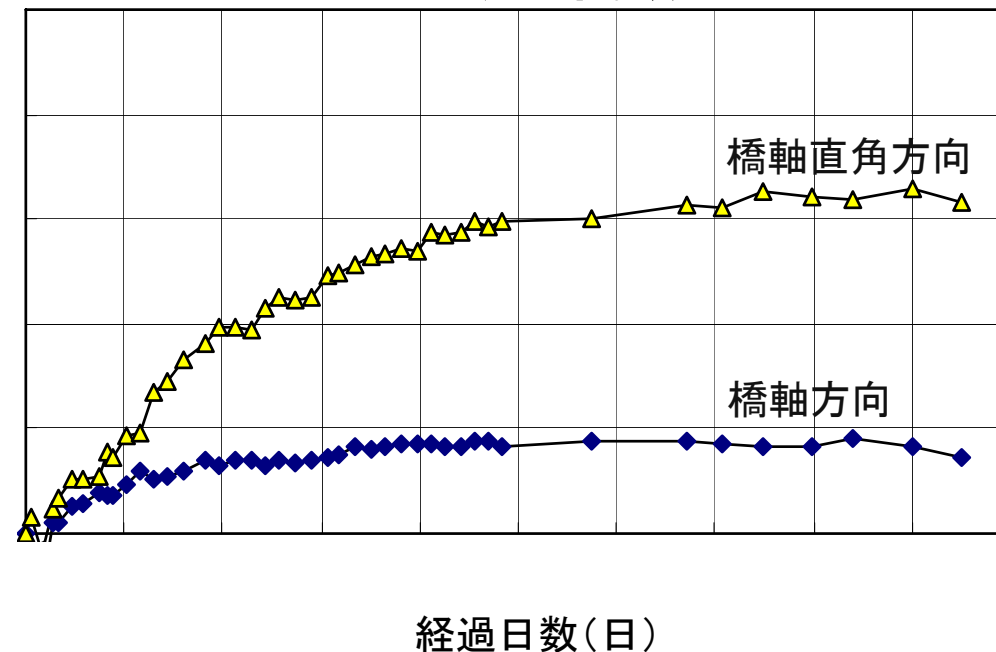
ASR反応部材の載荷試験 (静的せん断載荷試験)



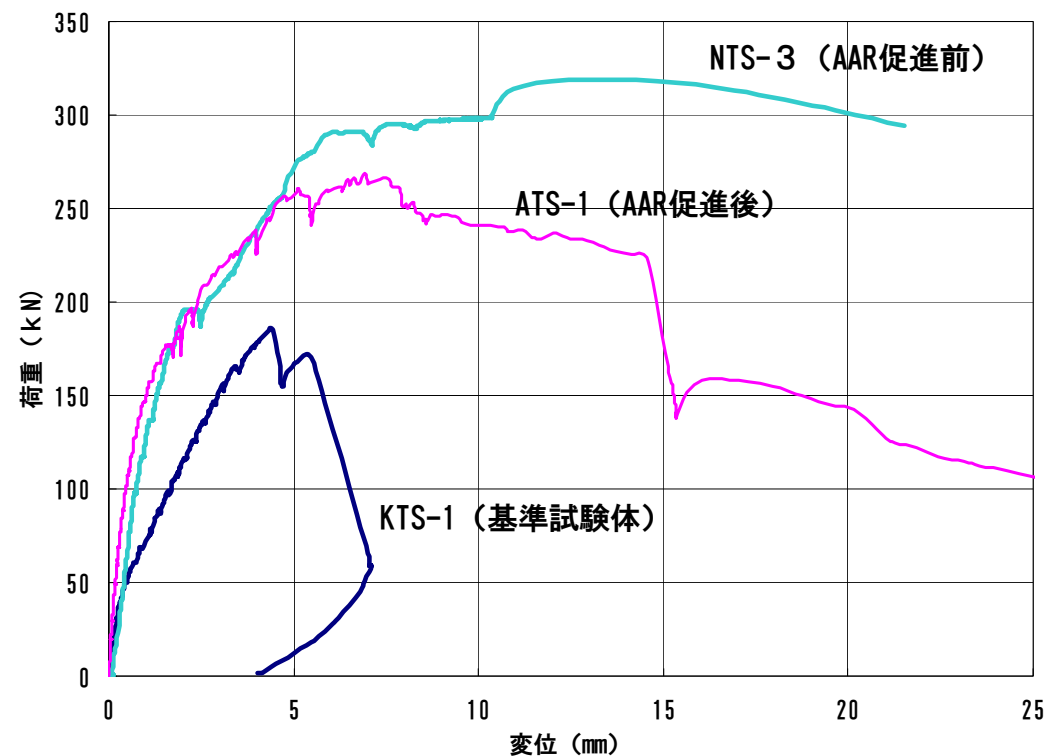
ASR反応のRC部材のせん断耐力は、プレストレスの効果で定着がしっかりしていれば向上する

AAR促進試験

膨張率(%)



実験データ (基準試験体とAAR試験体)



A S R 反応部材の載荷試験 (せん断疲労载荷試験)

環境条件：気中、促進前

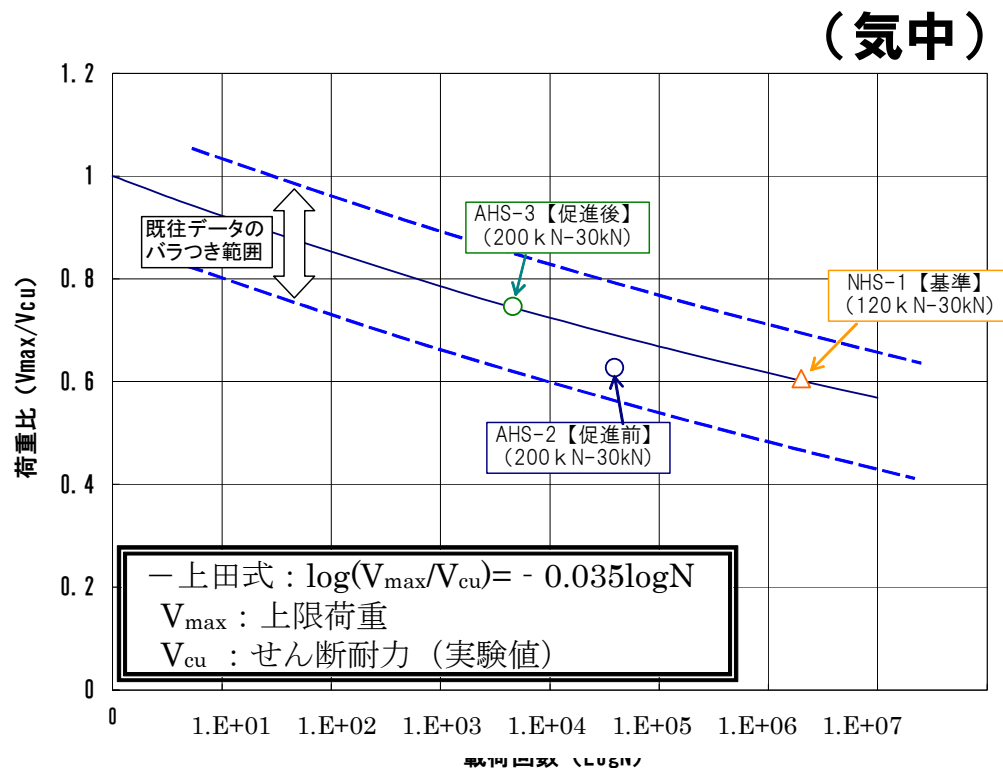


環境条件：水中、促進前



A S R 反応部材の載荷試験 (せん断疲労載荷試験)

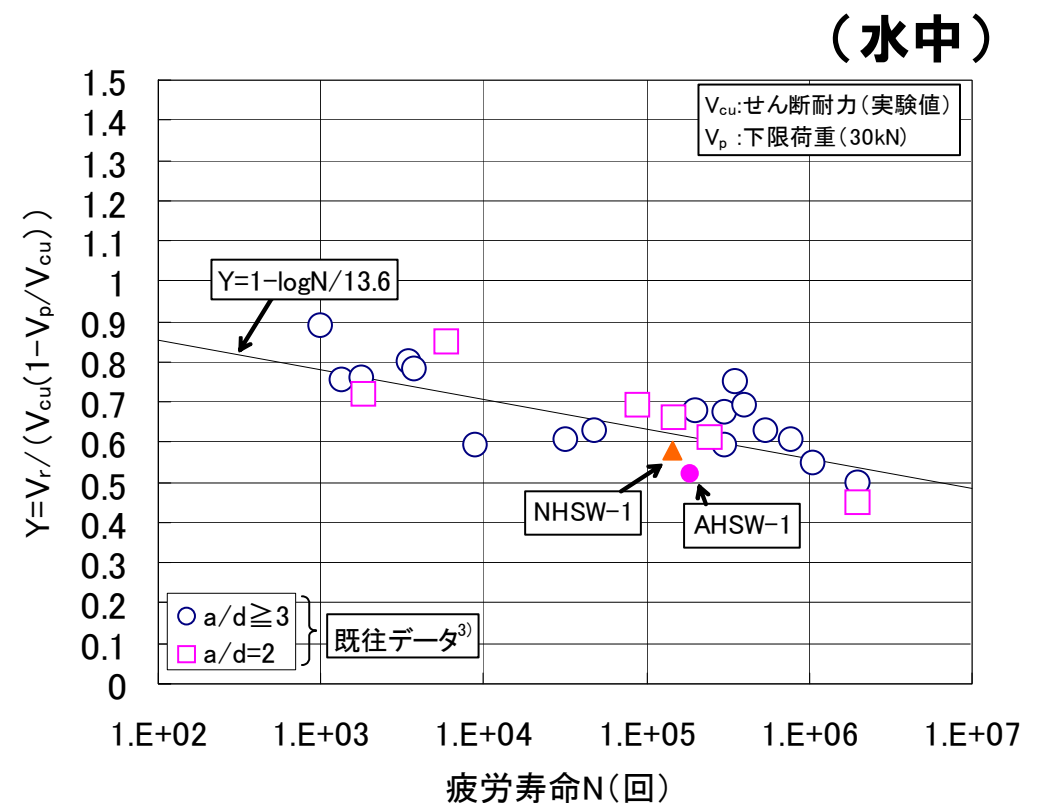
既往の評価式との比較



上田式

$$\log(V_{\max}/V_c) = 0.035 \log N$$

※ V_c には静的せん断耐力

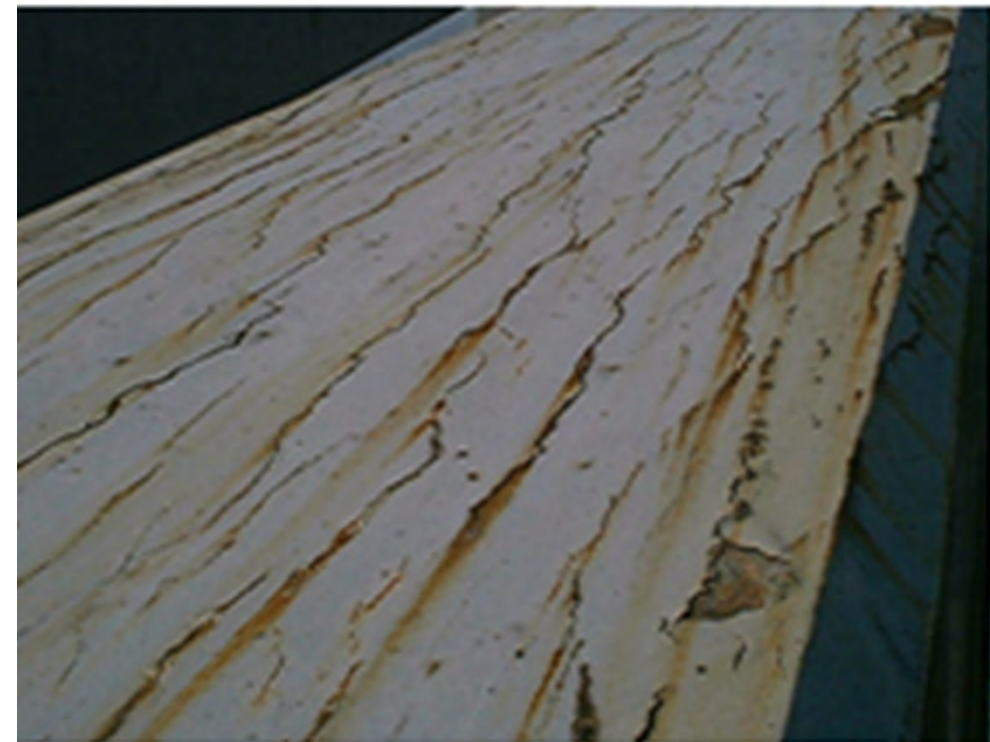


井上式

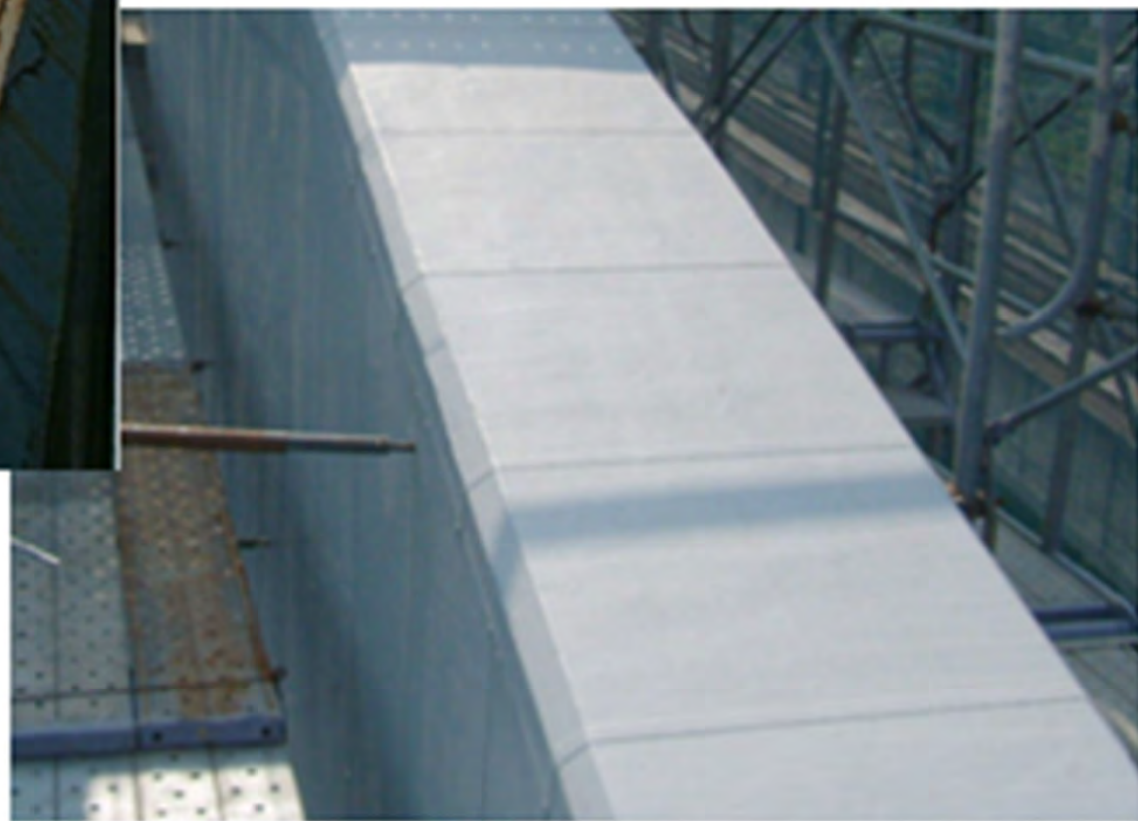
$$Y = V_r / (V_c(1 - V_p/V_c)) = 1 - \log N / 13.6$$

※ V_c には静的せん断耐力

補修事例



ASRによる変状



高疲労耐久性シートによる補修

2.3 塩 害

○飛来塩分（主な対策は電気防食と、塩分吸着剤（SSI工法））

○海砂の塩分は生コンでの検査方法が確立して解決済み

海塩粒子の飛来による塩害事例（日本海沿岸）



塩害による損傷状況（PC桁）



再変状の状況

断面修復での補修は数年で
再劣化



PC鋼材の腐食状況

電気防食工法

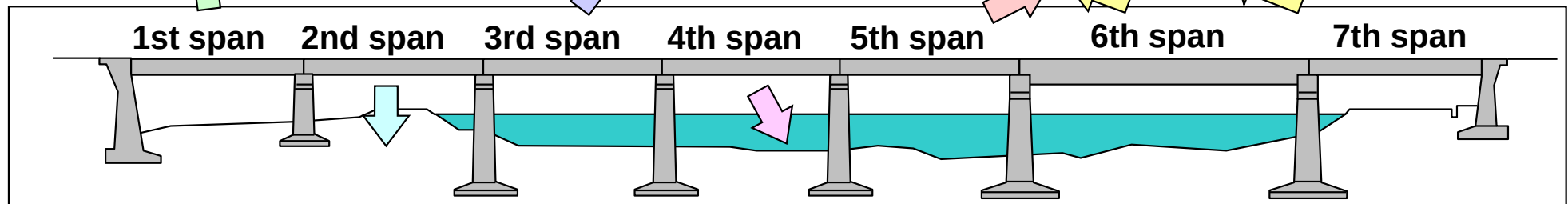
亜鉛シート工法



チタン溶射工法, チタン亜鉛溶射工法



チタンロッド挿入工法



チタングリッド工法



チタンメッシュ工法



2.4 凍害

生コンの荷下ろし時の試験では空気量が合格だが、実構造物のコアで調べると入っていないく凍害を生じる事例が発生

凍害の事例

橋脚（在来線）



凍害の事例：張り出しスラブ（新幹線）





[スラブ]



[RC防音壁]

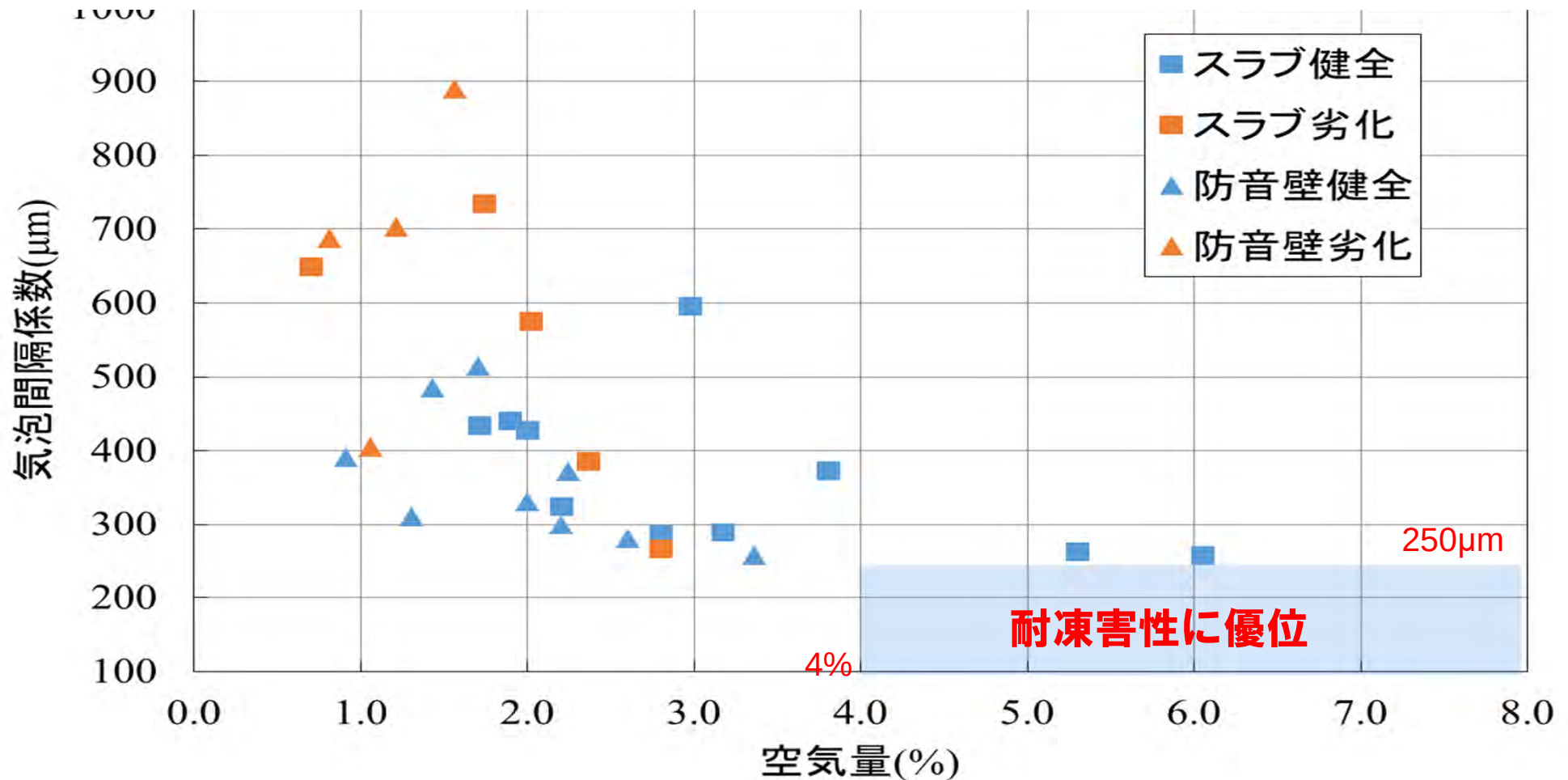


[路盤コンクリート]

凍害の発生例（新幹線）

空気量・気泡間隔係数の相関

- 採取されたコアから試料を切り出し、ASTM C 457-98に準じて、リニアトラバース法によりコンクリートの空気量および気泡間隔係数を測定した。



- 劣化部は、空気量が小さく、気泡間隔係数の大きい方に位置している。
- 健全部は、空気量が大きく、気泡間隔係数の小さい方に位置している。
- 空気量が大きいほど、気泡間隔係数は小さい。
- 耐凍害性に優位となるものはみられなかった。

2.5 桁座、支承部

**橋梁の損傷で最も多い箇所である。施工時にシューを正しく据え付けつけていないことや、シューが動かなくなることで
の損傷**

桁座、桁端の変状事例 －ひび割れ、剥離－



既設RC桁の補修事例（アクリル樹脂による補修）

R C 桁支承部（鋼板沓）の変状



桁座補修 削孔



アクリル樹脂注入

列車荷重の繰り返し载荷により、**水中疲労**の影響によって**噴泥化**が生じた。コンクリートの水中疲労強度は小さくなる

2.6 P C鋼材破断、グラウト不良

原因

**P Cグラウトの未充填
不十分な充填
グラウト材料の欠陥**

対策

**鋼材破断は鋼材交換、グラウト再施工
鋼材が健全の時はグラウト再施工**

PC鋼棒破断による損傷事例（鋼材の飛び出しとかぶりの落下）

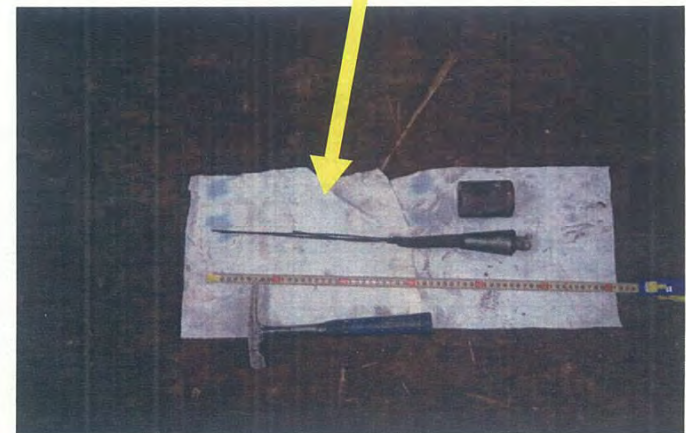
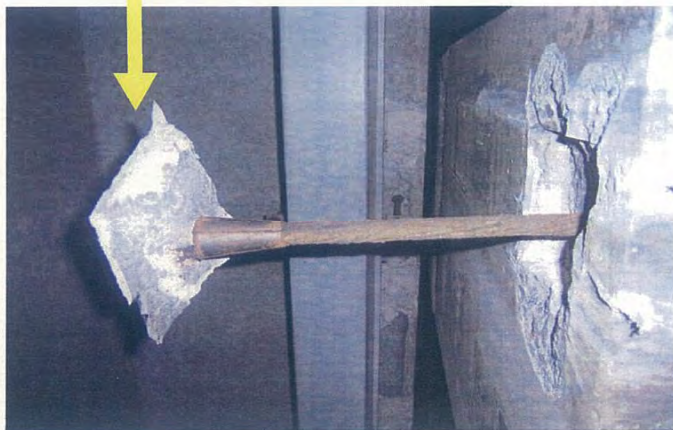
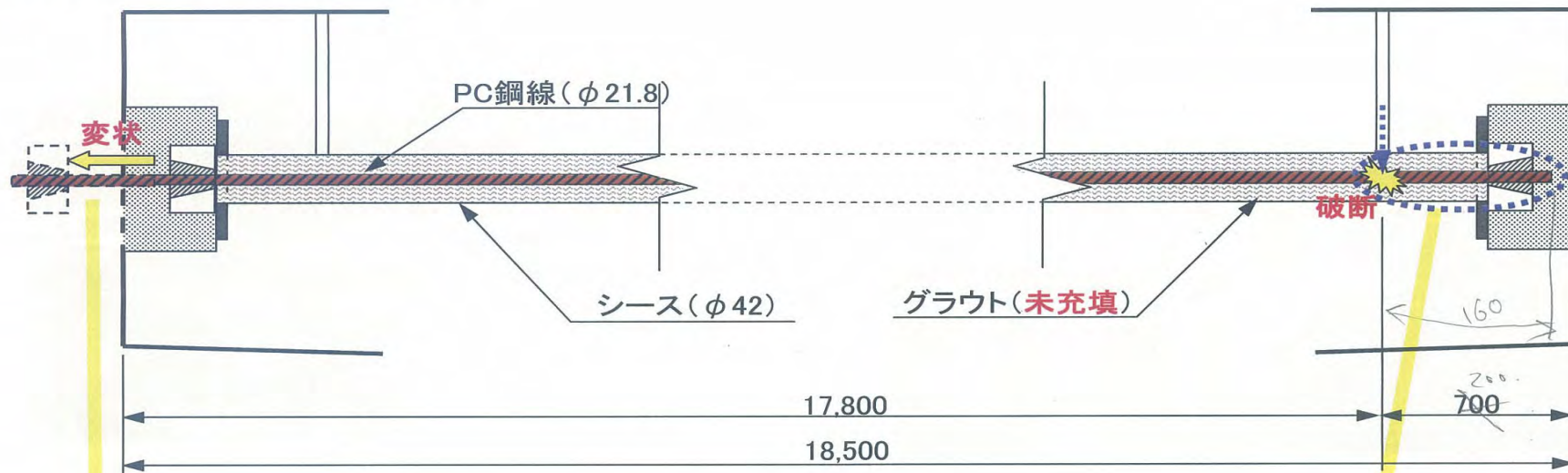
主桁下面鉛直締めPC鋼棒突出による
かぶりコンクリート押抜きあと（グ
ラウト充填不十分）



床版（電柱支持梁）横締めPC鋼
棒突出状況
（グラウト未充填）

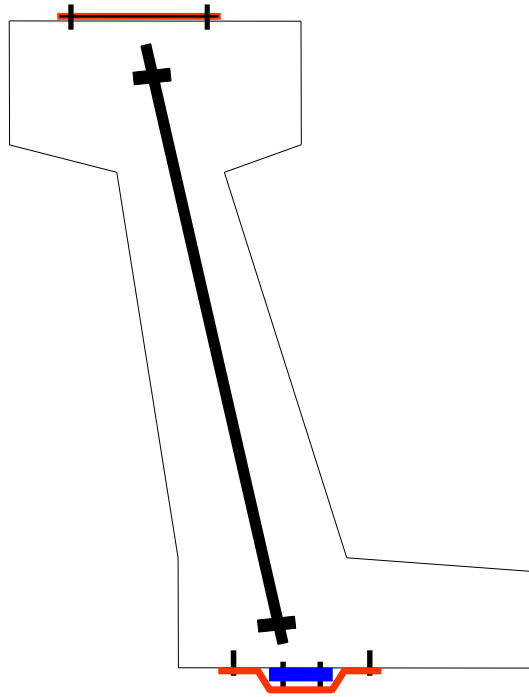
PC鋼線の破断

【横締PC鋼線破断模式図】

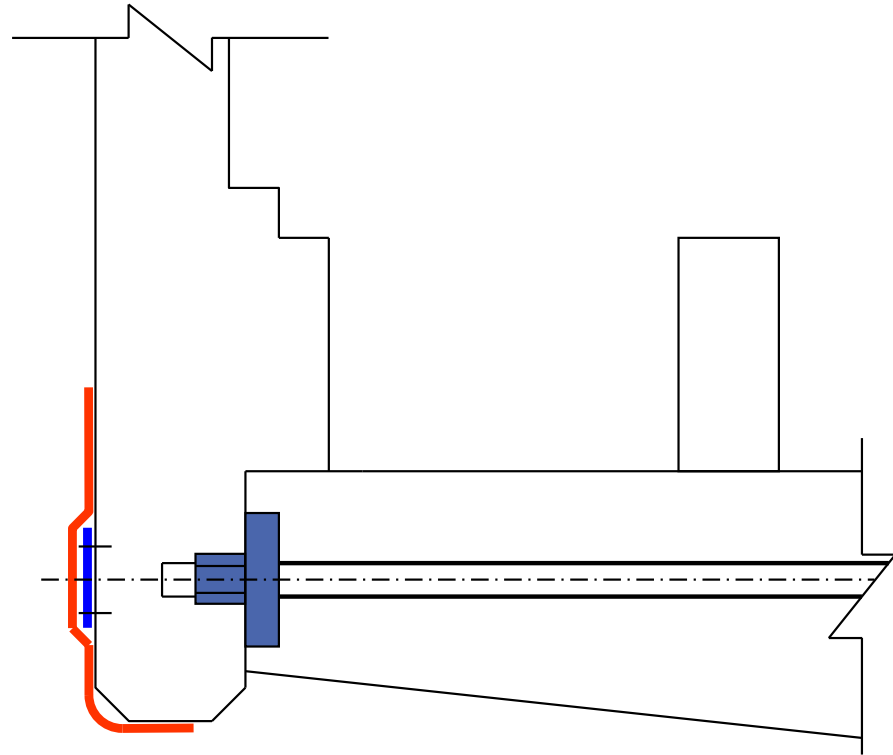


既設構造物への対策(PC鋼棒突出対策)

繊維シート



帯鋼板・繊維シート



帯鋼板・繊維シート

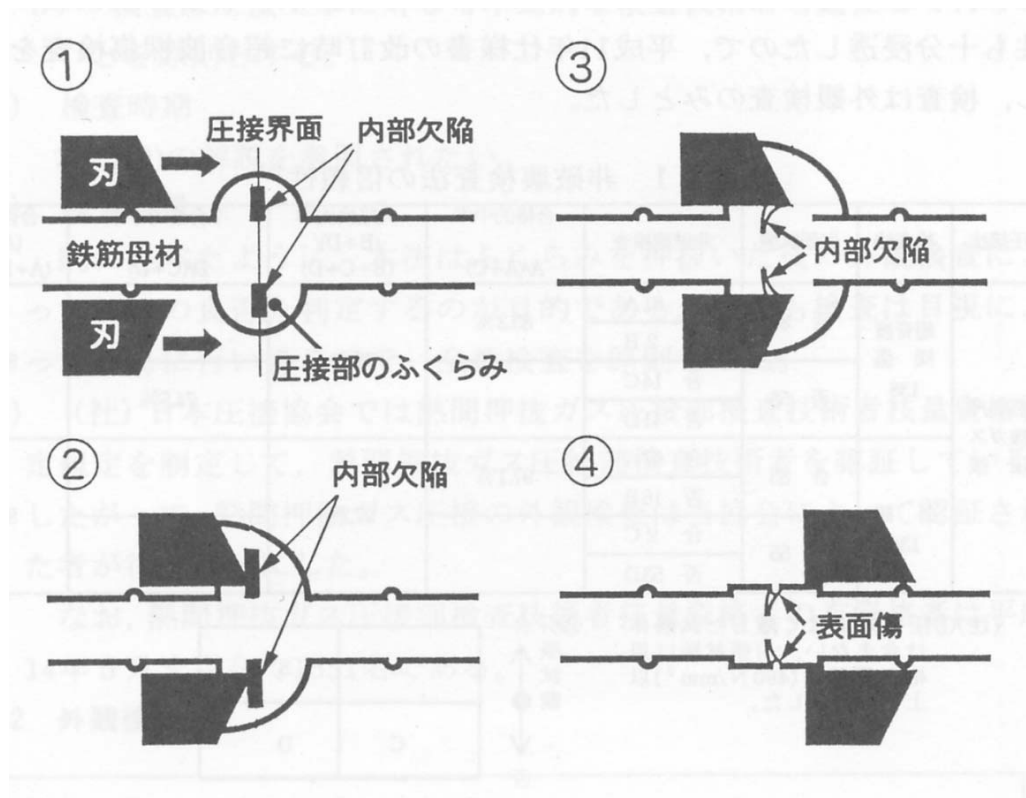
定着部に鋼板・繊維シートを貼り付け、破断時に変状が確認できるようにする。

2.7 鉄筋圧接 曲げ戻し

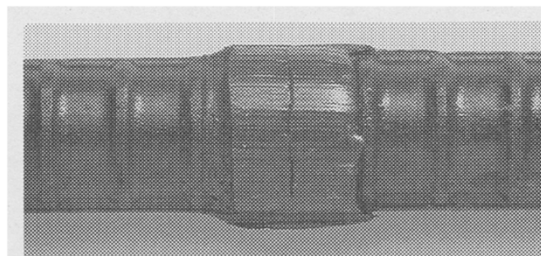


地震被害で圧接不良が現れる

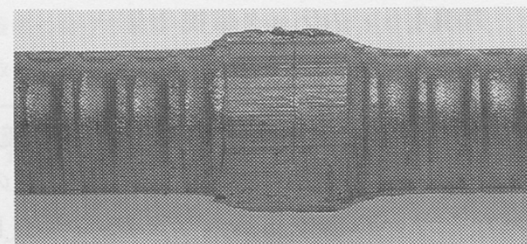
全数目視ができる 熱間押抜きガス圧接



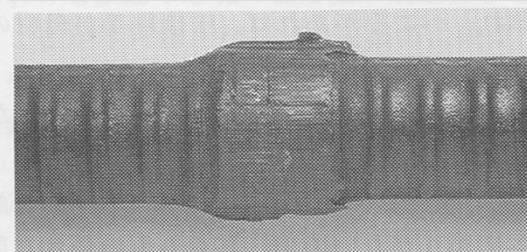
熱間押抜きガス圧接による表面傷の発見



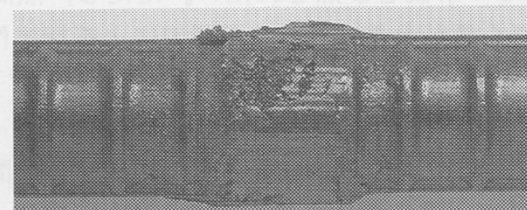
割れ(大)



割れ(小)



へこみ



オーバーヒートによる表面不整

鉄筋継手の信頼性向上

熱間押しぬきガス圧接工法(全数目視確認)



鉄筋の曲げ戻し

鉄筋を曲げると内側にクラックが入る材質のものが過去は多かった（ASRでの鉄筋の破断、施工時の鉄筋の曲げ戻し）

- JISの規定に鉄筋の曲げ戻し試験が義務化されていない
- ISOは義務化されている

質問

- 鉄筋の、降伏時の伸びは、どのくらいですか、伸び能力に対して何%ですか
- 降伏した鉄筋は、再使用可能ですか
- 降伏する前の性状にどうしたら戻せますか

2.8 地震災害と対策

地震災害と対策



(阪神淡路大震災)

地震災害と対策



(阪神淡路大震災)

地震災害と対策



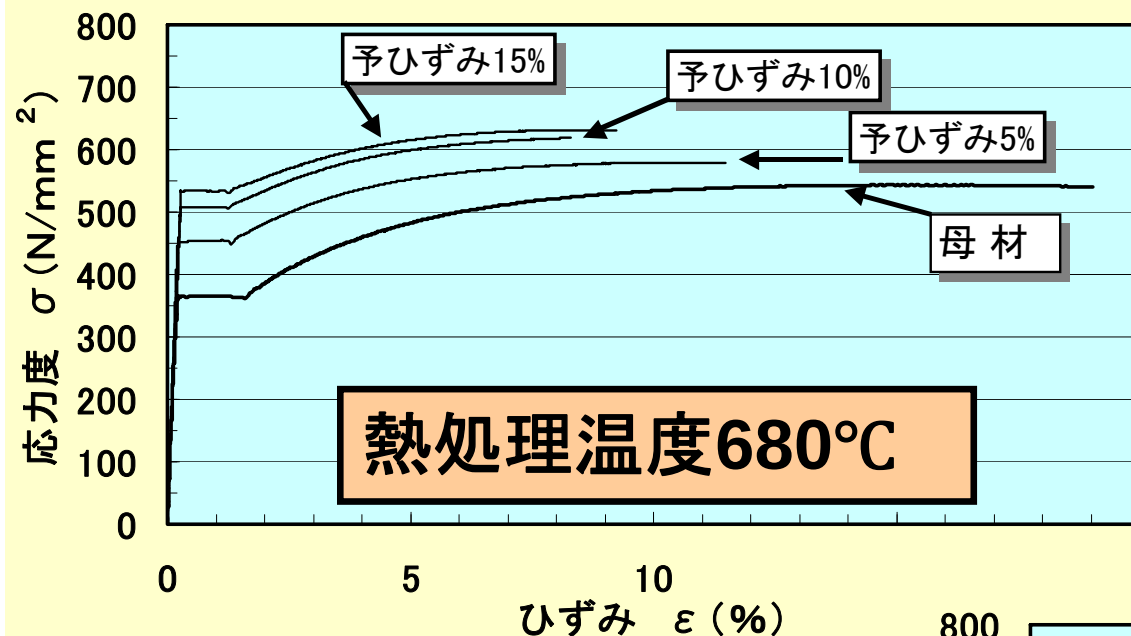
(新潟中越地震)

地震災害と対策

技術的判断の根拠

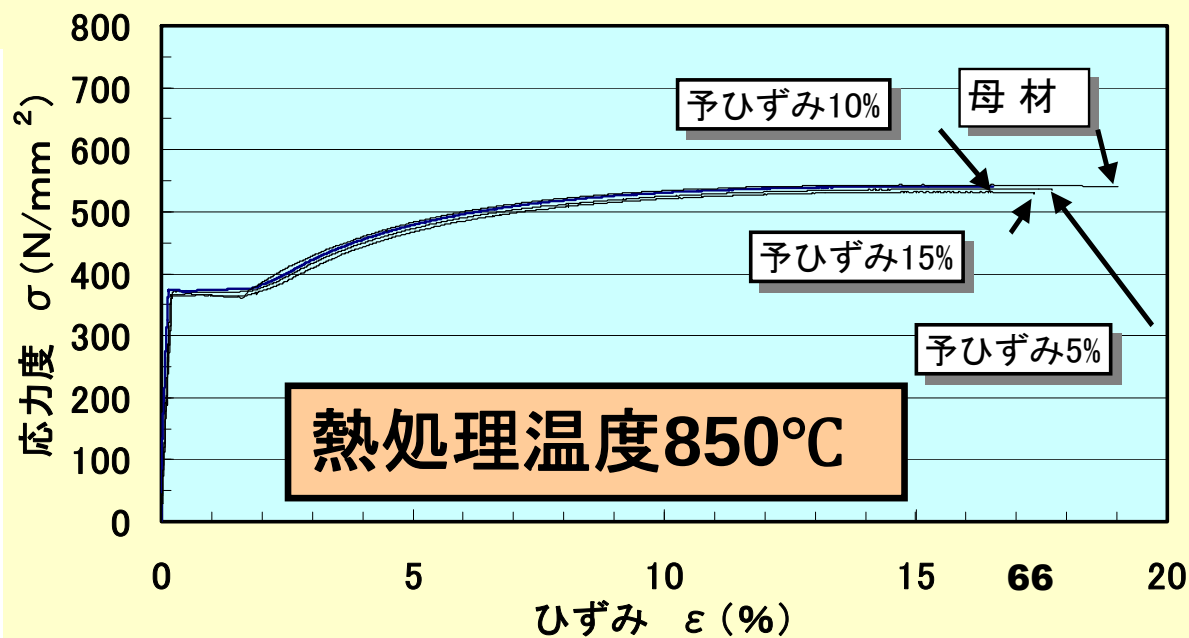
- ①鉄筋が降伏（伸びきってしまうこと）して曲がっても、**850℃程度で熱して真っ直ぐに戻せば、元の性質に戻り、再使用できる。**
- ②コンクリートは、**ひび割れに注入**すれば元の性情に戻る。
- ③重いものは、**ジャッキと、テフロン**で容易に動かすことができる。

① 予ひずみを与えた鉄筋の応力-ひずみ関係



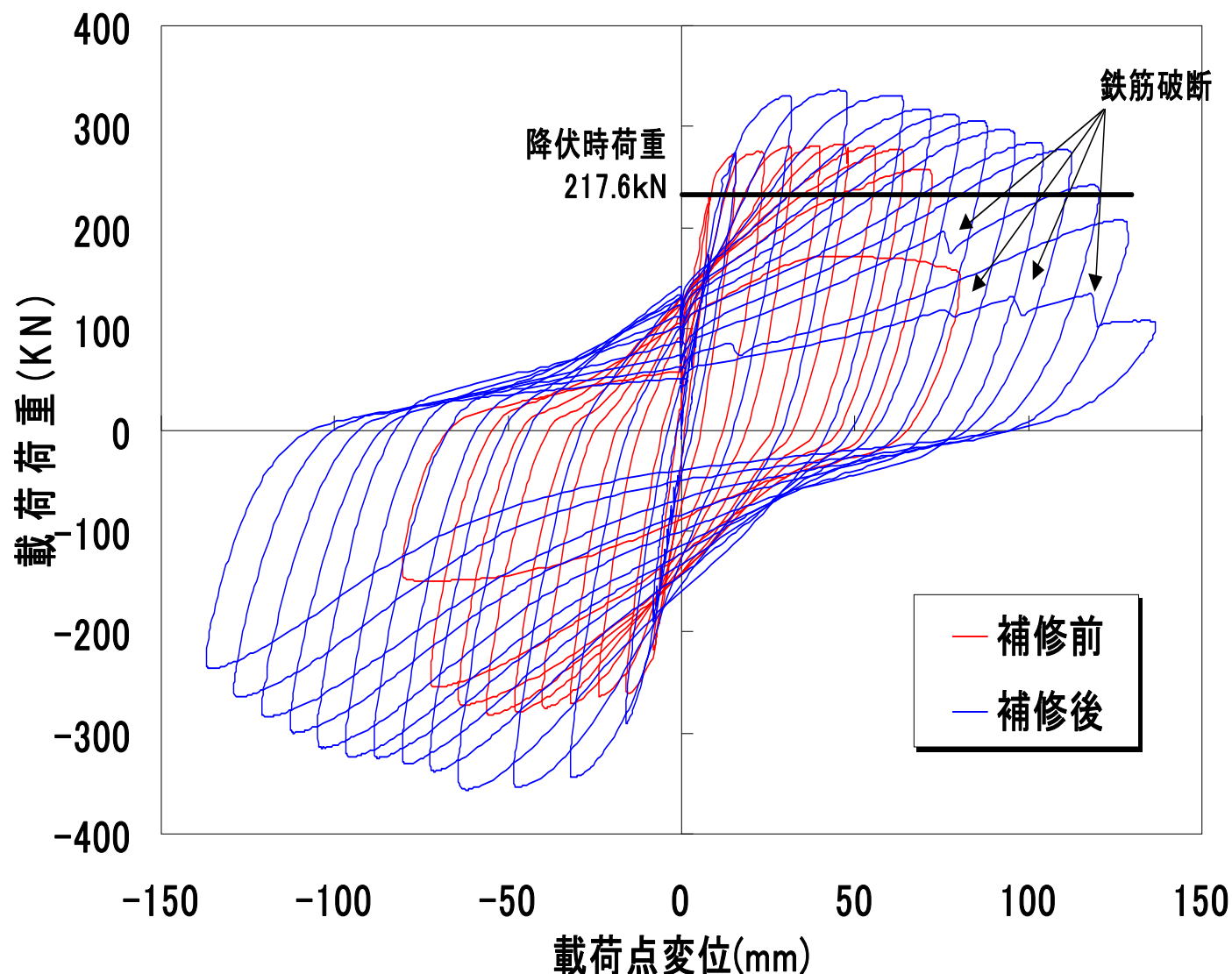
熱処理温度が680°C以下の場合、予ひずみ量が大きくなるに従って母材よりも応力度が大きくなり、伸びがなくなる傾向を示す。

熱処理温度が850°Cの場合、予ひずみ量に関係なく、母材とほぼ同程度の性能を示す。



②断面補修した試験体の交番載荷試験

交番載荷試験終了後の試験体の断面補修を行い、最載荷を行う



補修前

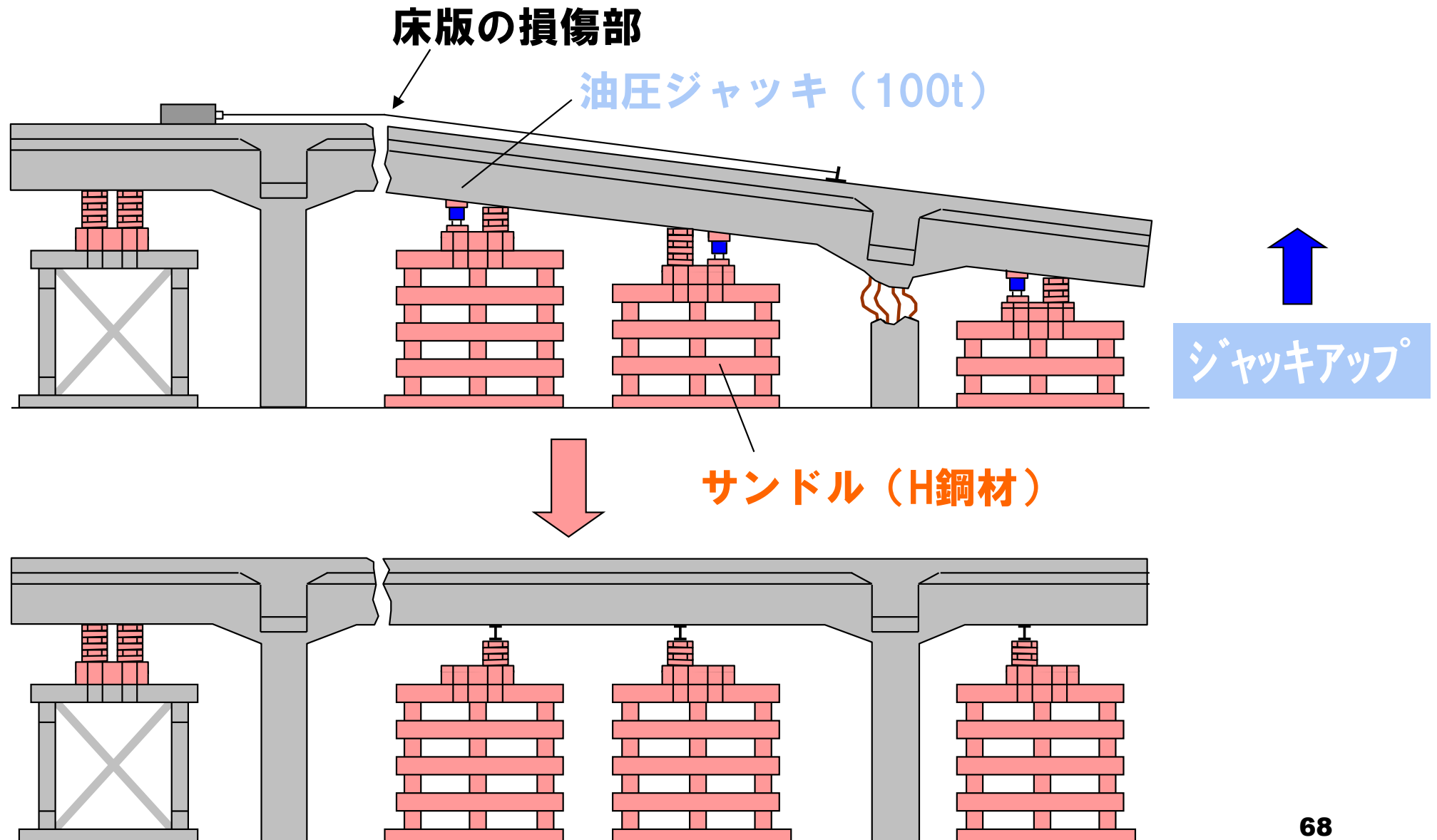
9 δ_y 程度まで最大荷重を保持している

補修後

4 δ_y 程度まで最大荷重を保持しており、補修前に比較して、終局変位がかなり伸びている

地震災害と対策

ジャッキアップ工法



鉄筋の整正



耐震補強工法の例

鋼板巻き補強工法



RB (Rib Bar) 工法



一面耐震補強工法



一般的な箇所

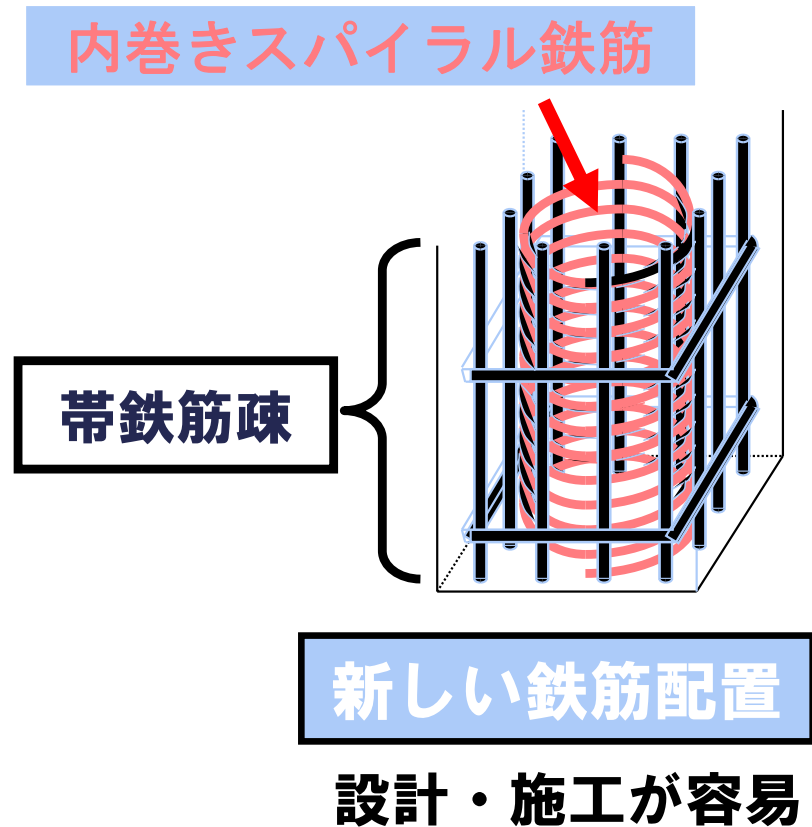
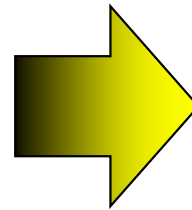
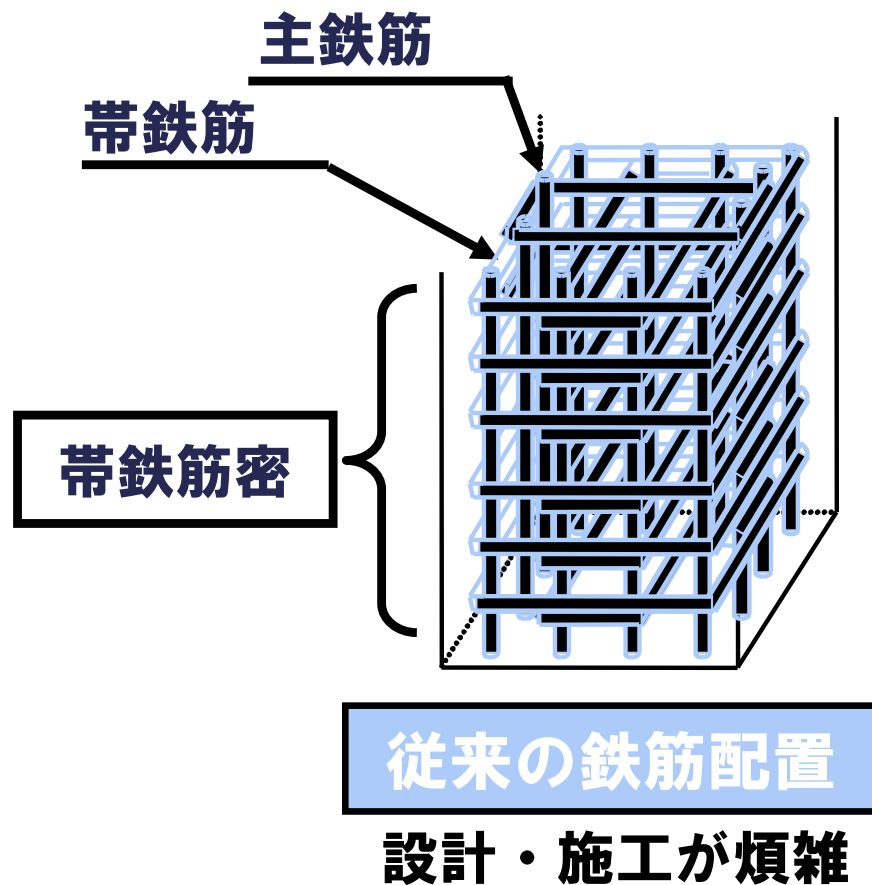


噛合せ継手による
施工の省力化

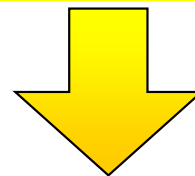
- ・狭隘な箇所
- ・人力施工

- ・店舗等が利用
している箇所

地震災害と対策（新設構造物）



柱端部および杭頭部に内巻きスパイラル鉄筋を使用



部材の耐震性能が現状の2倍以上

損傷状況（交番載荷終了後）の比較

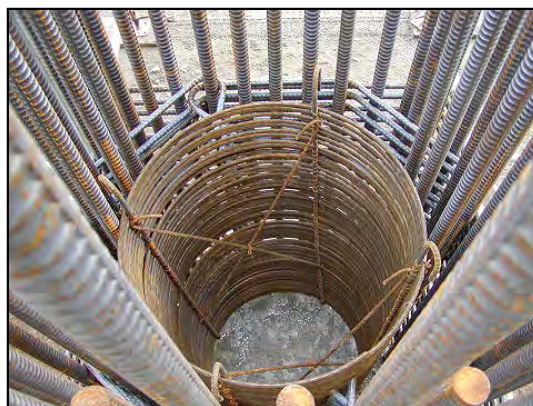
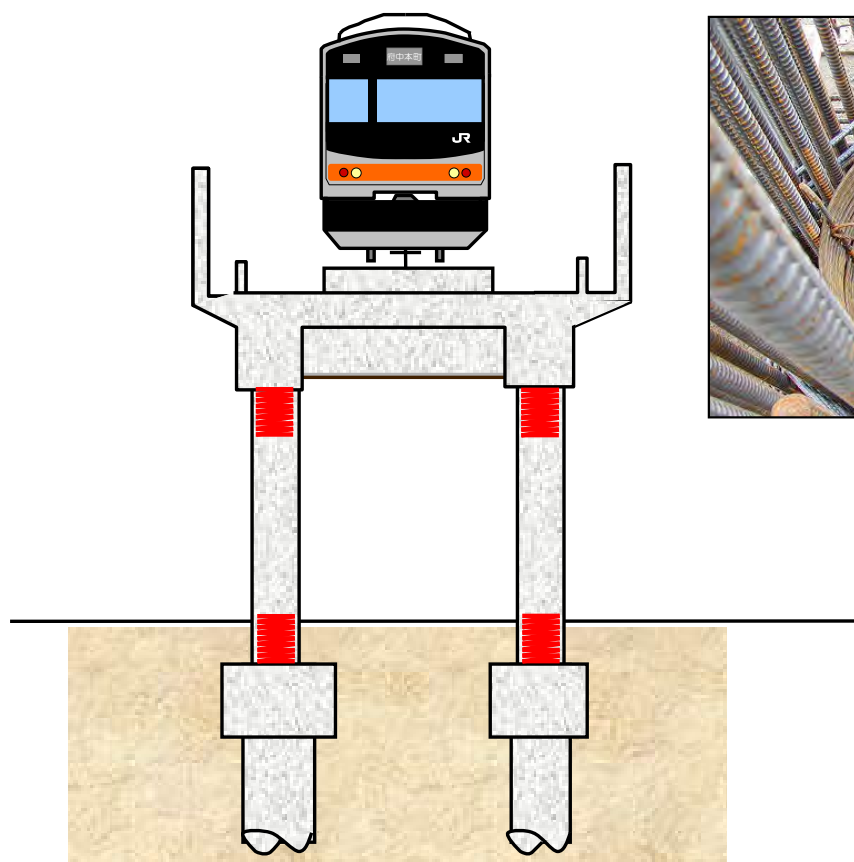
従来の配筋方法



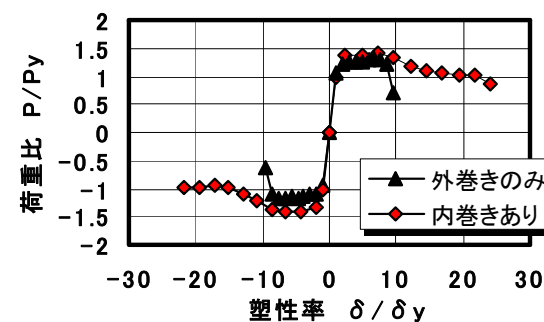
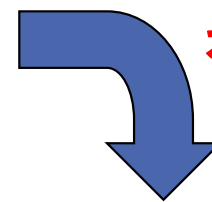
内巻スパイラル鉄筋の配筋方法（20δy載荷終了後）



内巻スパイラル鉄筋の適用



大変形領域でも
急激な耐力低下
を生じない



適用現場

- ・ 東北本線長町駅付近連続立体交差化工事
など、JR東の高架橋にほとんど採用

コストアップせずに高い耐震性能を実現

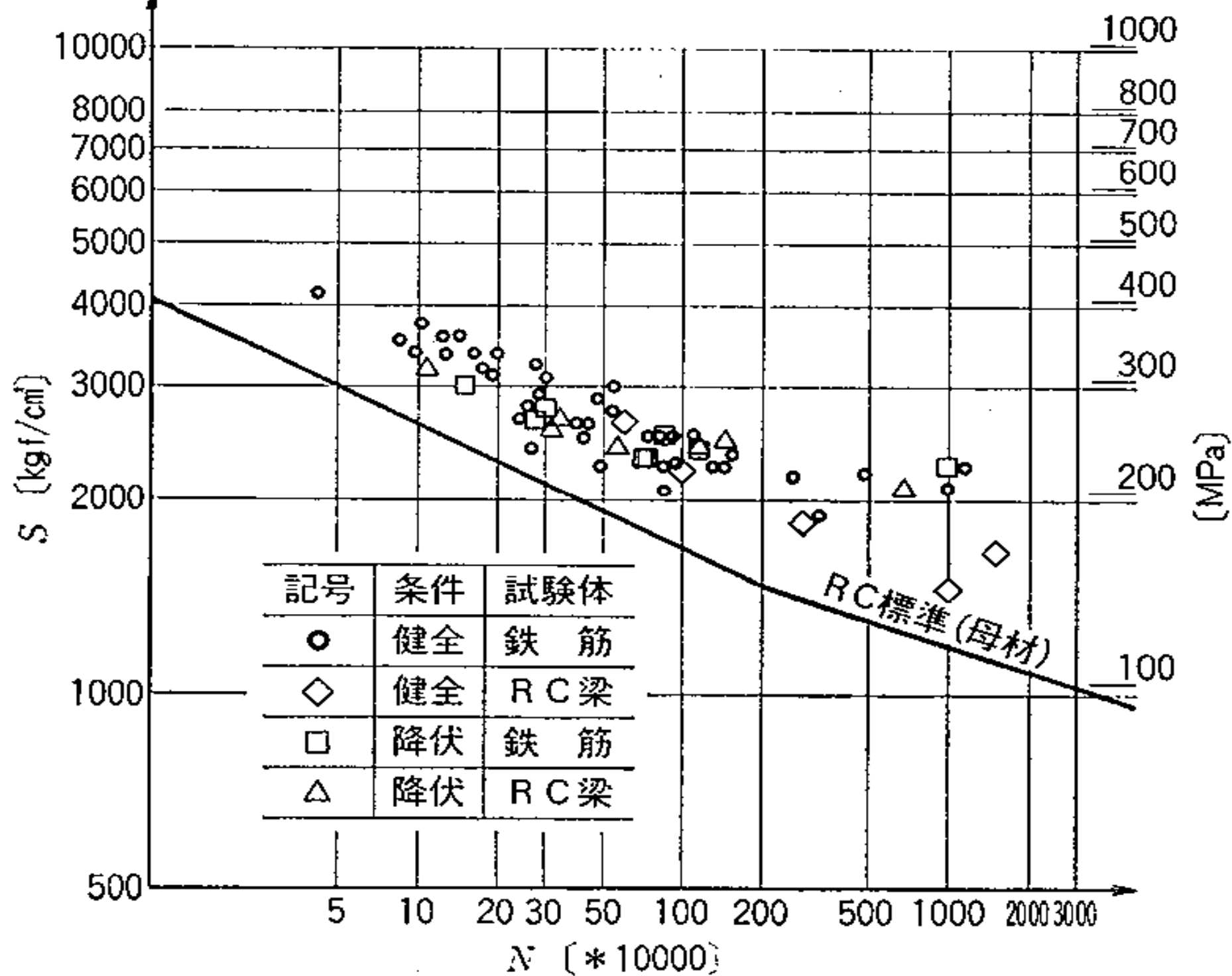


図-6 降伏歪以上の歪をうけた鉄筋と健全な鉄筋の $S-N$ 線⁷⁴

2,9

火災被害

何が燃焼したかで最高温度は推定できる

鉄筋の強度は高温を受けても温度が下がれば戻る

高温時は鉄筋の強度は低下する

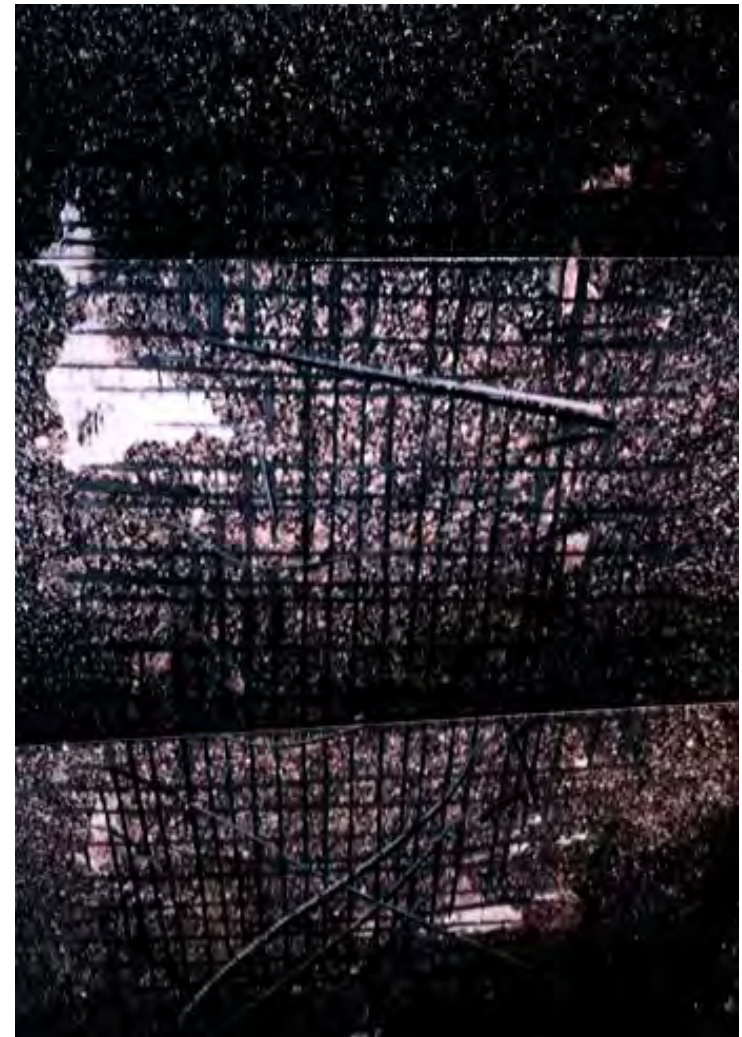
PC鋼材は高温時も、低下時も強度低下する

コンクリートのかぶりが残っている状況での鋼材の温度はあまり高温にならない。

武蔵野線高架下の火災



構造物の損傷状況



火災を受けた高架橋の復旧後



3. メンテナンスに必要な設計 の知識

・設計で用いたコンクリートの許容応力度

時期	設計に使用されたコンクリート許容応力度 σ_{ca} (kg/cm ²)
1914年 (大正3年)	42～53
1931年 (昭和6年)	55～60
1955年 (昭和30年)	45～80
1966年 (昭和41年)	50～100
1967年以降 (昭和42年)	$\sigma_{ck}/3$

耐力からはコンクリート強度は 余裕

照査ケース例

【構造形式】

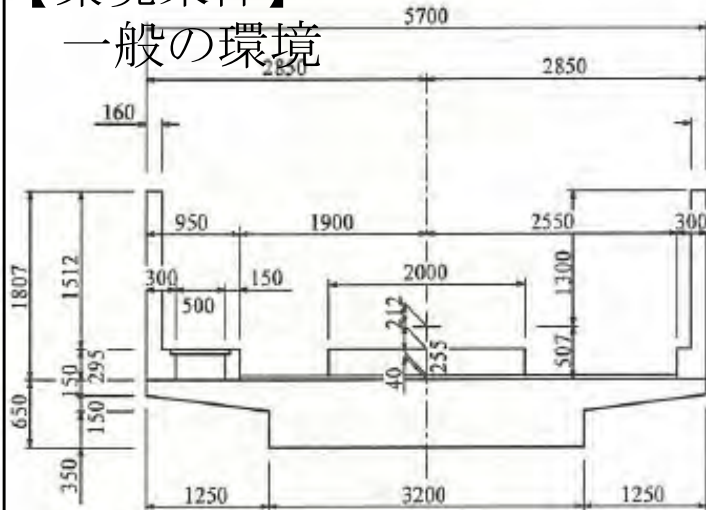
単線用RC単純スラブ桁

桁長: $L=10.90\text{m}$

スパン: $l = 10.00\text{m}$

【環境条件】

一般の環境



●力学的に必要なコンクリート強度

①構造物の安全性照査

曲げ破壊

$$f'_{ck} = 7 \text{ N/mm}^2$$

②応力度の制限値

永久荷重に対する
曲げ圧縮応力度
の制限値 ($0.4f'_{ck}$)

$$f'_{ck} = 13 \text{ N/mm}^2$$

●耐久性上必要なW/Cから決まるコンクリート強度

W/C=50%

$$f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$$

4. まとめ

コンクリート構造、材料の特徴

- 構造物の強度は鋼材で決まっており、コンクリート強度は余裕があるのがふつう
- コンクリートは経年で強度はほとんど落ちない、中性化しても強度は落ちない、アルコツ、凍害など内部での膨張で劣化すると落ちる
- 鋼材も経年で強度は落ちない、腐食を防ぐことが重要、コンクリート構造物の耐力低下は、鋼材の腐食が原因
- 鉄筋は降伏しても強度、疲労強度も低下しない

長寿命の構造物にするには**設計、施工、維持管理の情報**の連携が重要

- 維持管理のトラブル情報より、**同じ変状構造物を造り続けないために**設計、施工の技術基準の速やかな変更が必要
- ほとんどの劣化は、耐荷力の低下のない初期に**外観**に現れる、調査に時間と金をかけすぎないで対策を
- **建設年**より施工方法、設計基準がわかるので、**その時代の欠点**がわかる