

鉄道コンクリート構造物のメンテナンス

東日本旅客鉄道株式会社
構造技術センター

松田 芳 範

1

本日の内容

1. JR東日本における維持管理体系
2. 対象構造物（橋梁・高架橋，経年と数量）
3. コンクリート構造物の変状種別
3. 事例紹介（地震を除く）
中性化？，アルカリ骨材反応，塩害，凍害，
施工，支承部・・・，設計 等）

2

維持管理とは何でしょうか！

- ・ 存在するものを維持すること？
- ・ 在るものを見るだけが維持管理？
- ・ どうやってこの物（構造物）が出来てるの？
- ・ 物（構造物）を理解出来てますか（出来る）？
- ・ 図面を読めますか？
- ・ 変状のほとんどが初期欠陥（設計・施工）

3

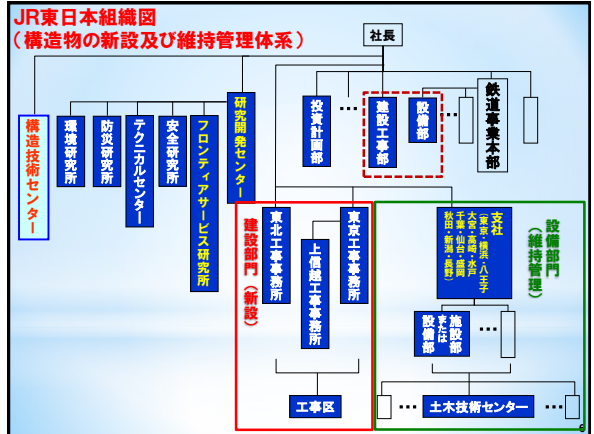
維持管理とは 「総合技術！」

維持管理に限ったことではありませんが！
現状維持が維持管理ではない！
維持管理から設計・新設へのフィードバックが重要

4

JR東日本における 構造物の維持管理体系

5



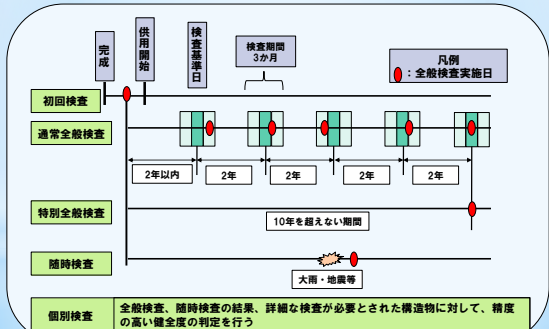
維持管理技術基準の体系 (法的な位置付け)

国	省令	鉄道に関する技術上の基準を定める省令	
	告示	施設及び車両の定期検査に関する告示	
JR東日本	規程	実施基準管理規程	
		土木施設実施基準	新幹線土木施設実施基準
		土木構造物管理規程	
		土木構造物に関する実施細目	新幹線土木構造物に関する実施細目
標準	鉄道構造物等設計標準		
	鉄道構造物維持管理標準		
マニュアル	土木構造物等全般検査マニュアル		

7

構造物の維持管理

構造物検査(検査区分と周期)



8

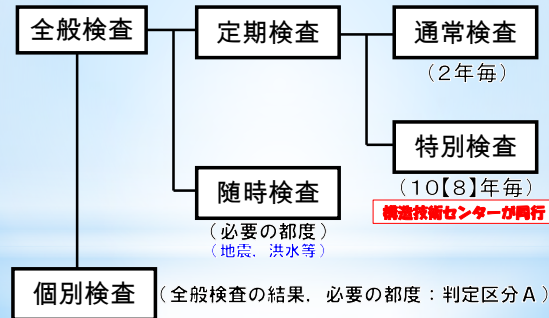
構造物の維持管理

構造物検査(検査区分と方法)

検査区分	内 容	調査方法	
初回検査	構造物の初期状態の把握等を目的に、新設工事、改築・取替を行った構造物の供用開始前に行う検査	入念な目視を基本 必要に応じて打音調査	
全般検査	通常全般検査	構造物の変状等を抽出することを目的とし定期的(2年ごと)に実施する全般検査	目視を基本
	特別全般検査	健全度の判定の精度を高めることを目的として、原則として10年を超えない期間ごとに実施する検査	入念な目視を基本 必要に応じて打音調査
随時検査	地震や大雨、融雪による異常出水等の災害により変状が発生した場合および変状を生じた構造物と類似の構造を有し、同様の変状が発生する可能性がある場合等、必要と判断された場合に行う検査	目視を基本とし、変状の状態により各種詳細な調査	
個別検査	全般検査、随時検査の結果、詳細な検査が必要とされた構造物に対して、精度の高い健全度の判定を行う検査	入念な目視を基本とし、変状の状態により各種詳細な調査	

9

検査区分



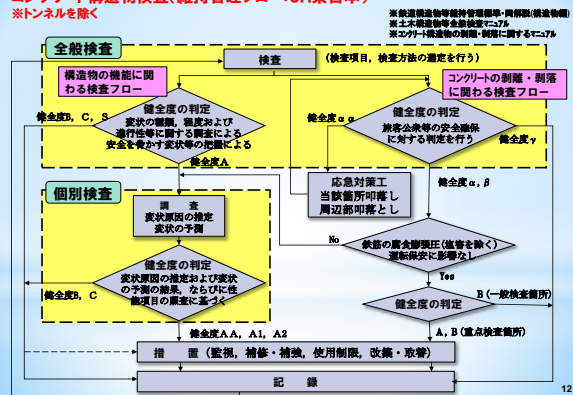
10

検査の判定区分

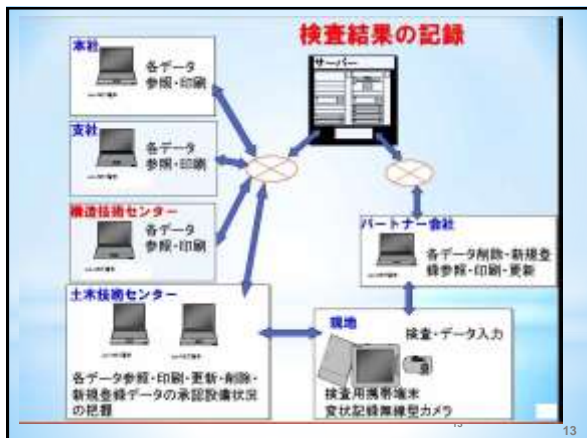
判定区分	土木構造物の状態	
A A	運転保安及び旅客公衆の安全を脅かす変状または欠陥があり、直ちに取替え、補強、使用停止等何らかの措置を必要とするもの	
A	A 1	1. 変状または欠陥があり、それらが進行して、土木構造物の機能を低下させつつあるもの 2. 大雨、出水、地震等により、土木構造物の機能を失うおそれのあるもの 3. 前2項の変状または欠陥で、運転保安及び旅客公衆の安全確保のため、または正常運行確保のため早急に措置を要するもの
	A 2	進行している変状または欠陥があり、将来それが土木構造物の機能を低下させ、運転保安及び旅客公衆の安全並びに正常運行確保を脅かすおそれがあるため措置を要するもの
B	変状または欠陥があり、将来「A」になるおそれのあるもので、必要に応じて措置するもの	
C	軽微な変状または欠陥で進行の停止もしくは再発のおそれのないことが確認できないもの、あるいは環境条件の影響を受けやすいもの	
S	健全なもの	

11

コンクリート構造物検査(維持管理フロー:JR東日本)



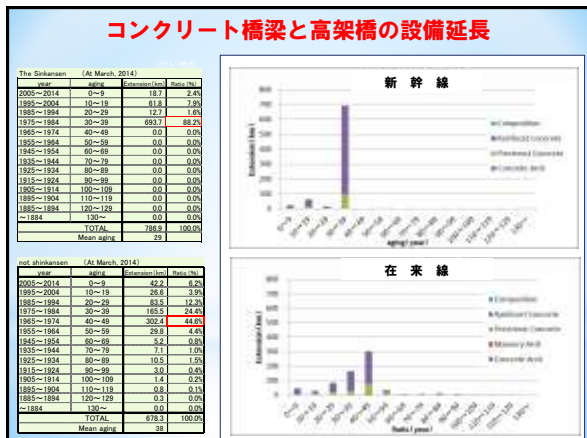
12



メンテナンスの対象となる構造物

構造物種別と経年情報
(トンネル除く)

14



コンクリートの変状 I

変状の分類

初期欠陥
経年劣化
構造的変状

16

コンクリートの変状 II

初期欠陥の種類

- 豆板 (ジャンカ)
- コールドジョイント
- 内部欠陥
- 砂 すじ
- 表面気泡 (あばた)

経年劣化の種類

- ひび割れ・浮き・剥落
- 体積変化・クリープ
- 錆 汁
- エフロレッセンス
- 汚れ(変色)
- すりへり

17

コンクリート構造物の変状

構造物の部材と力学特性

た	わ	み
変	形	
疲	勞	
振	動	

18

劣化(変状)の機構 (key word)

中性化
塩害
アルカリシリカ反応
(AAR・ASR)
凍害
化学的腐食
材料の疲労
風化・老化
火災

19

その他の劣化要因 (変状原因) (key word)

材支 料部
施 承 工
設 補 計
補 修

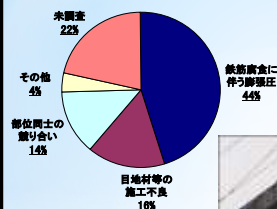
20

コンクリート片の剥落 (中性化?)

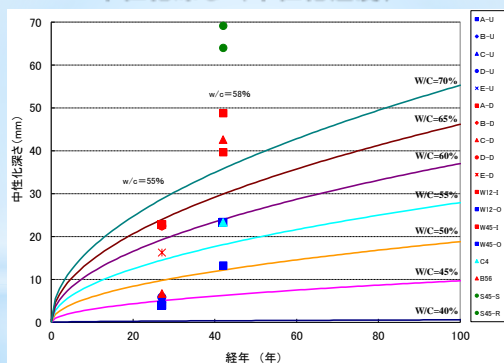
中性化で鋼材が腐食するの？
本当？

21

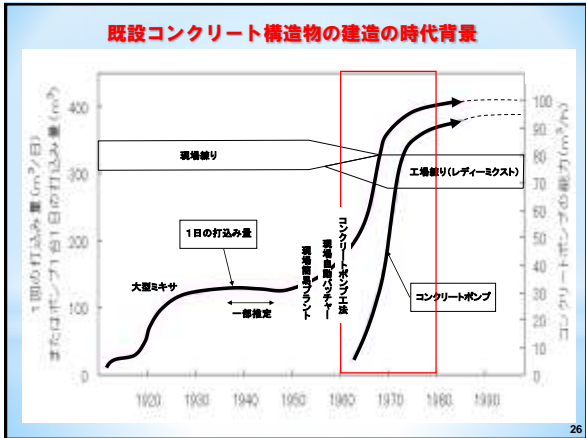
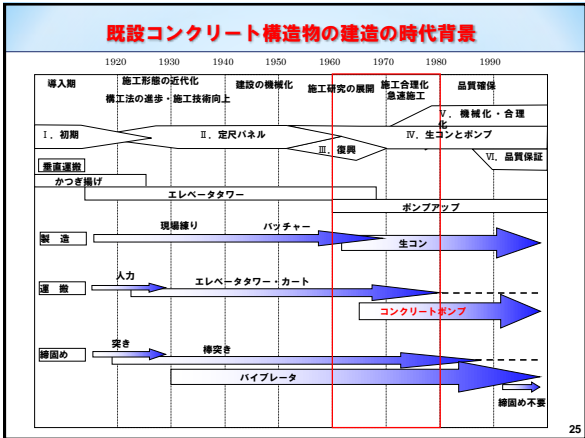
コンクリート片の剥落原因



中性化深さ (中性化速度)



24



剝離・剝落対策工

・・・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

- ### 新設構造物の品質向上施策
1. コンクリートの配合と標準かぶりの見直し
 2. 水切り構造細目の見直し
 3. コンクリート受入れ時の単位水量試験の追加
 4. 合成短繊維混入によるコンクリート片の剝落防止対策
 5. 防水工・接合工への性能契約の導入
 6. 施工後の打音検査の導入
 7. 鉄筋かぶりの非破壊検査の導入

コンクリートの品質管理

コンクリート受入れ時の 単位水量試験の導入

W/Cの確保
加水などの排除

コンクリートの品質管理

単位水量の現場での計測


静電容量方式の水分計 (HI-300)

水分計 (静電容量方式) による単位水量測定フロー

①コンクリート試料採取 [1分] ②ウェットスクリーニング [6分] ③単位水量測定 (試料詰め、重量測定含む) [4分]

測定時間: 10分


コンクリート材料の改良



繊維混入なし

合成短繊維混入による
剥落防止対策

繊維混入




コンクリートの品質管理

しゅん功検査


- ・非破壊による最外縁鉄筋のかぶりの検査
- ・打音検査
-
-

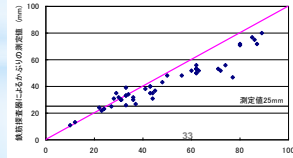
コンクリートの品質管理

かぶりの非破壊検査の一例




測定端子
測定器






測定値25mm

高架橋柱の場合




この柱では何が起きているのか？
右側と左側の違いは？
中性化との関係はある？
中性化の影響が大きいのは？

鉄筋コンクリート桁張出し床版下面の場合



水切り無

(A)



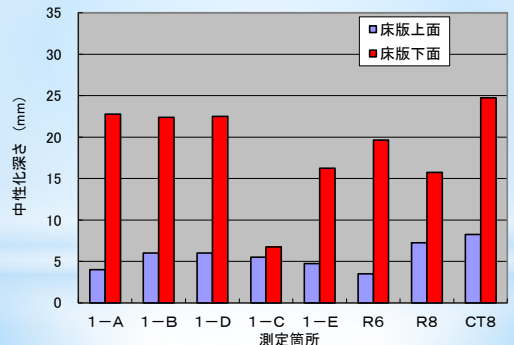
水切り有

(B)

AとBの違いは何か

水の有無によってコンクリートの剥落に差が生じる

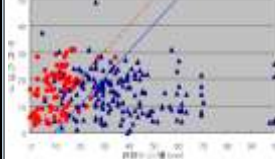
中性化深さ



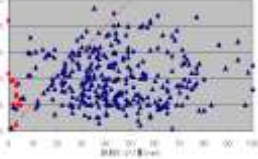
測定箇所	床版上面 (mm)	床版下面 (mm)
1-A	4	23
1-B	6	22
1-D	6	22
1-C	5	7
1-E	4	16
R6	3	19
R8	7	15
CT8	8	24

中性化と水の影響

(雨水の影響を受ける部位)



(雨水の影響を受けない部位)

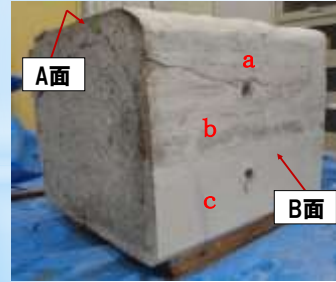


●剥落箇所 ▲無剥落箇所

- ・雨水の影響を受ける部位は、中性化が遅い
- ・雨水の影響を受ける部位は、剥落の傾向が高い
- ・雨水の影響を受けない部位は、中性化が早い
- ・雨水の影響を受けない部位は、剥落の傾向が低い

37

RCラーメン高架橋柱(経年89年)

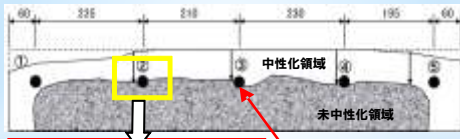


A面:モルタル被覆
断面修復による補修痕
戦時中火災を受けた
放水による水の影響

B面:
a:モルタル被覆
(A面同様)
b:建設時からの状態
c:屋内用化粧塗膜

秋葉原駅高架橋の一部で上野東京ライン建設に伴い撤去
直接降雨の影響は受けない

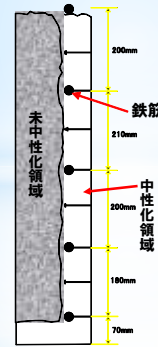
RCラーメン高架橋柱 中性化の状況(A面)【水の影響有】



中性化深さ測定結果(A面)

中性化深さ (平均)	鉄筋かぶり (平均)	中性化残り (平均)
65mm	50mm	-15mm

RCラーメン高架橋柱 中性化の状況(B面)【水の影響無】

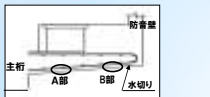


中性化深さ測定結果(B面)

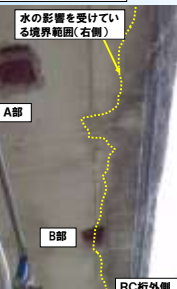
中性化深さ (平均)	鉄筋かぶり (平均)	中性化残り (平均)
79mm	45mm	-34mm

中性化深さは、
A面65mm、B面79mm
中性化残りは、
A面-15mm、B面-34mmであった。
腐食は、断面修復箇所が行われて
いるA面が顕著な腐食状況を示して
いたがB面は鉄筋が完全に中性化
領域であるのに腐食状況は点錆程
度であり、全体的に黒皮が残存して
いる状況であった。

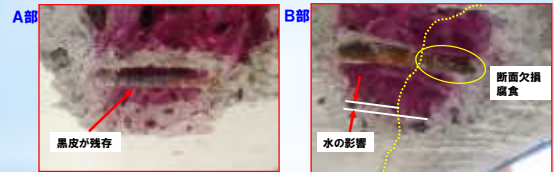
RCT桁張出し床板(下面)



寒冷降雪地にあり冬期には水点下
になることもある



RCT桁片持ちスラブ(下面)



中性化深さ測定結果

調査 部位	中性化深さ (平均)	鉄筋かぶり (平均)	中性化残り (平均)	水の影響の 有無
A部	58mm	30mm	-28mm	無
B部	35mm	35mm	0	有

中性化に対して水の影響の有無による差は23mm

中性化と水掛かりによる変状実態の把握

中性化と雨水の影響 【プレキャストプレストレストコンクリート板】



コンクリート配合表

	W/C (%)	スラブ (cm)	セメント (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	骨材 (kg/m ³)
防水層部 (t=10mm)	50.0	0	450	225	1620
補強部 (PC鋼材配置t=60mm)	38.1	0	420	180	1800

透水係数 表面排水部 100ml/m²・h以上 (2h)

防水層部 不透水 (2h)

※注1 穴あきPC継ぎ目元 (JIS A 6611 空質プレストレストコンクリートパネル)

43

中性化で腐食はしない！

鋼材の腐食には水の影響が大

土木学会 コンクリート標準示方書
維持管理編2013年版から「水掛り」
を設定
設計編2017年版に「水の浸透に伴う
鋼材腐食に対する照査」を設定

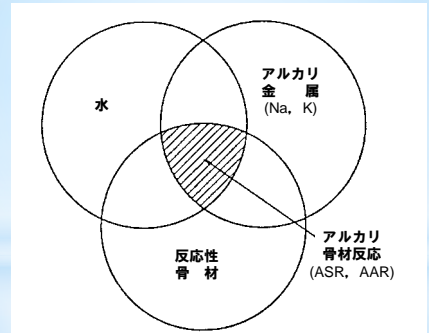
44

アルカリ骨材反応

45

45

アルカリ骨材反応の主要因



46

アルカリ骨材反応

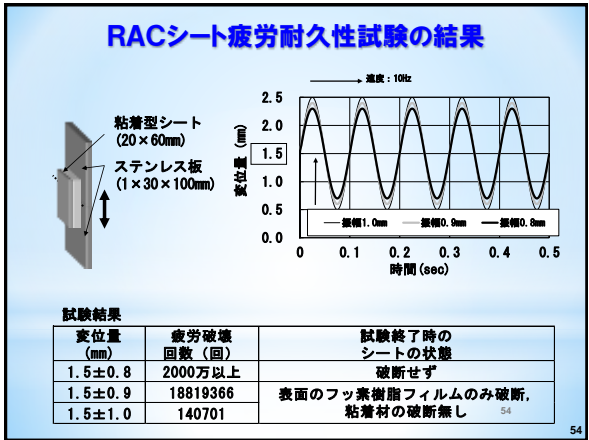
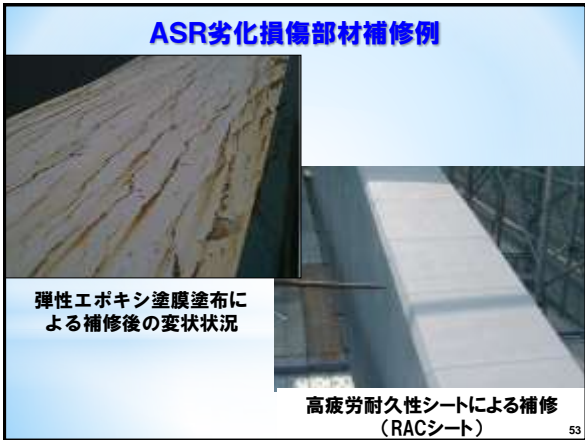
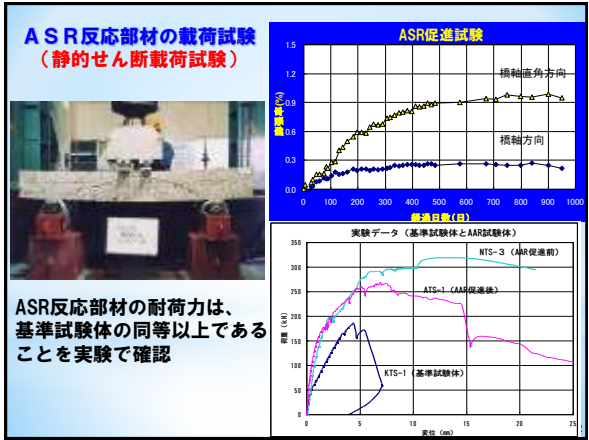
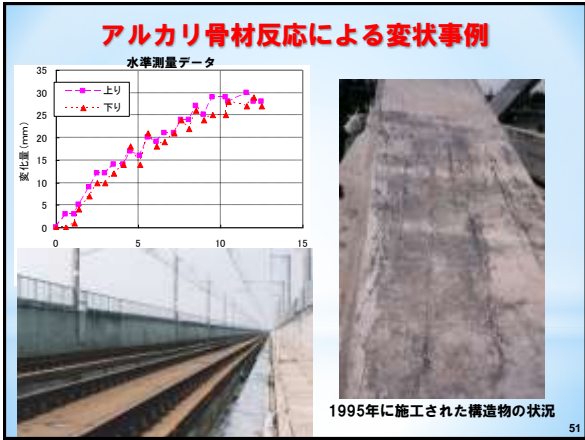
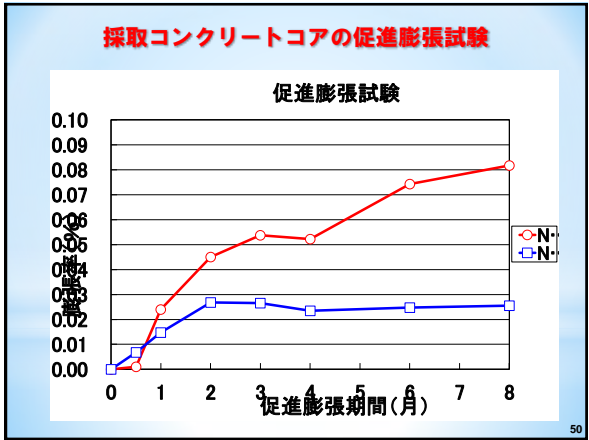


47

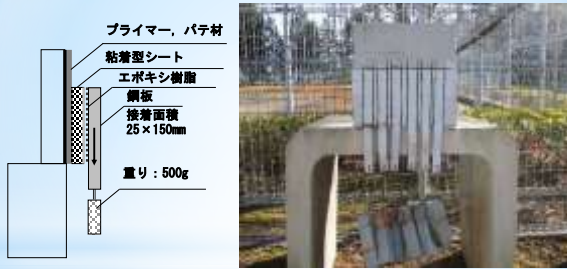
47

アルカリ骨材反応





RACシートせん断接着耐久性試験の結果

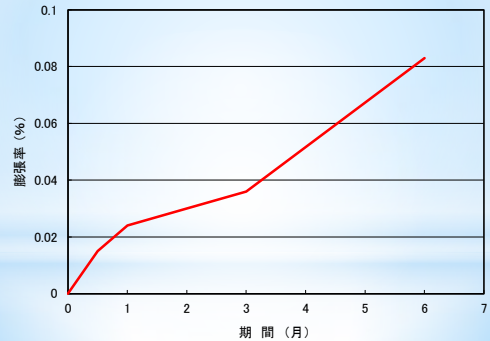


試験結果

現在15年経過（2003年5月開始）
 これまで、塗膜防水シートのズレやはく離等の変状の発生無し

55

ASRを生じたコンクリートに使用された粗骨材



56

アルカリ骨材反応 現行JIS規格

JIS A5308 附属書1(規定)レディーミクストコンクリート

アルカリシリカ反応性による骨材の区分

区分	適用
A	アルカリシリカ反応性試験の結果が“無害”と判定されたもの
B	アルカリシリカ反応性試験の結果が“無害でない”と判定されたもの、又はこの試験を行っていないもの



区分Bの場合はアルカリシリカ反応抑制対策を行わなければならない

57

アルカリ骨材反応 現行JIS規格

アルカリ骨材反応抑制対策

- コンクリート中のアルカリ総量を規制する対策
 →アルカリ総量 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下
- アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等の使用
- 安全と認められる骨材の使用
 →モルタルバー法では膨張率 0.1% 未満のもの

ところが...

アルカリ総量、骨材試験結果がJIS基準を満たしているにも関わらずASRを生じた事例がJR東日本で発生

58

アルカリ骨材反応対策（国土交通省通達）

【2002（平成14）年8月1日】

- 抑制対策
 構造物に使用するコンクリートは、アルカリ骨材反応を抑制するため、次の3つの対策の中のいずれか1つについて確認をとらなければならない。なお、土木構造物については2.1、2.2を優先する
- 2.1 コンクリート中のアルカリ総量の抑制
 アルカリ量が表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート 1m^3 に含まれるアルカリ総量を Na_2O 換算で 3.0kg 以下にする。
- 2.2 抑制効果のある混合セメント等の使用
 JIS A 5211高炉セメントに適合する高炉セメント「B種またはC種」あるいはJIS A 5213フライアッシュセメントに適合するフライアッシュセメント「B種またはC種」、もしくは混和材をポルトランドセメントに混入した結合材でアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。
- 2.3 安全と認められる骨材の使用
 骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法またはモルタルバー法）の結果が無害と確認された骨材を使用する。

なお、海水または潮風の影響を受ける地域において、アルカリ骨材反応による損傷が構造物の安全性に重大な影響を及ぼすと考えられる場合（2.3の対策をとったものは除く）には、塩分の浸透を防止するための塗装等の措置を講ずることが望ましい。

59

対策

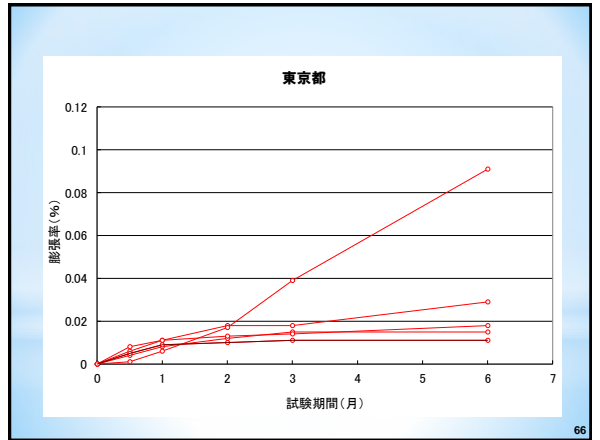
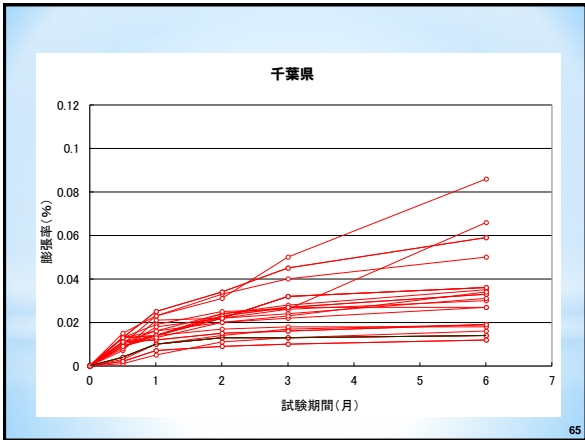
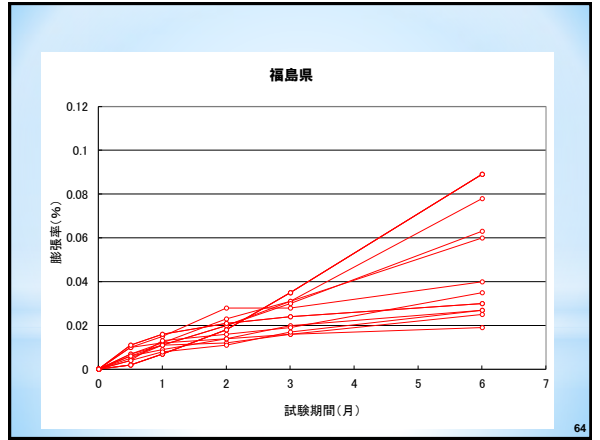
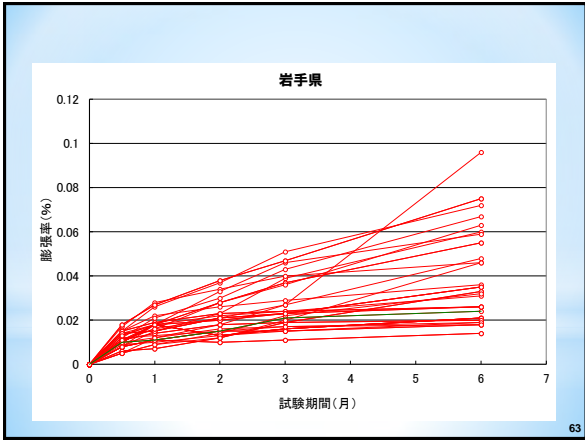
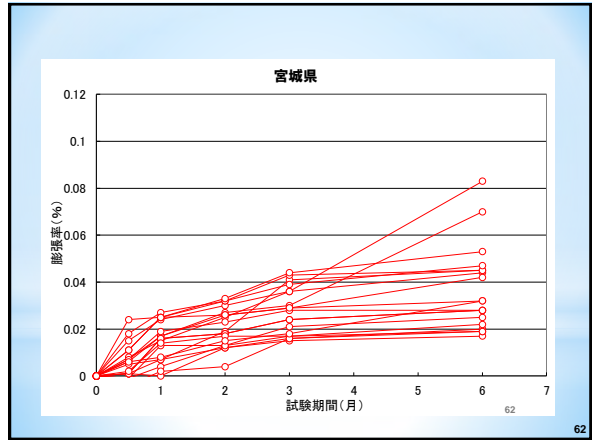
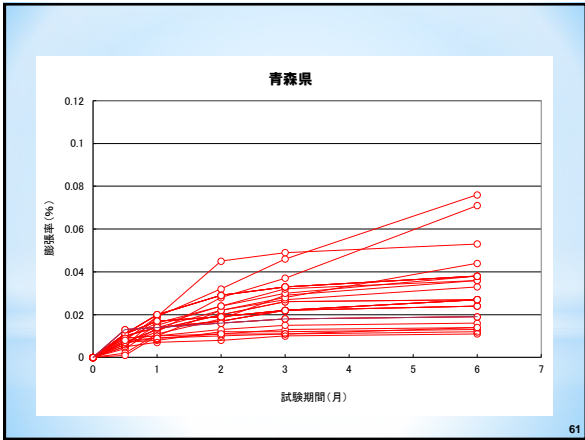
JR東日本がルール改訂前に行っていた指導内容（1999年5月SED No.12）

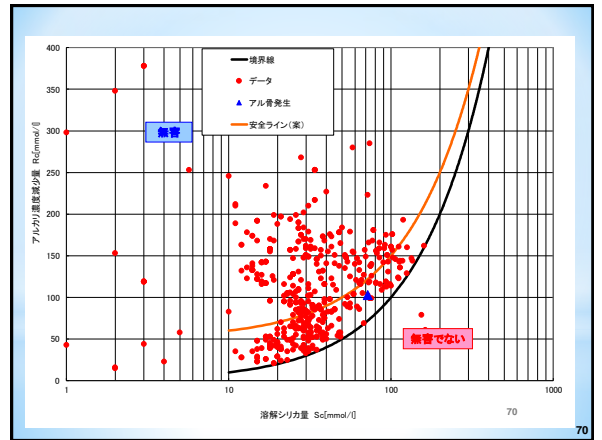
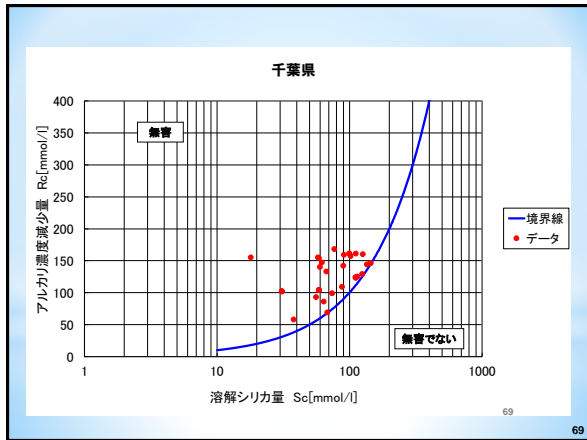
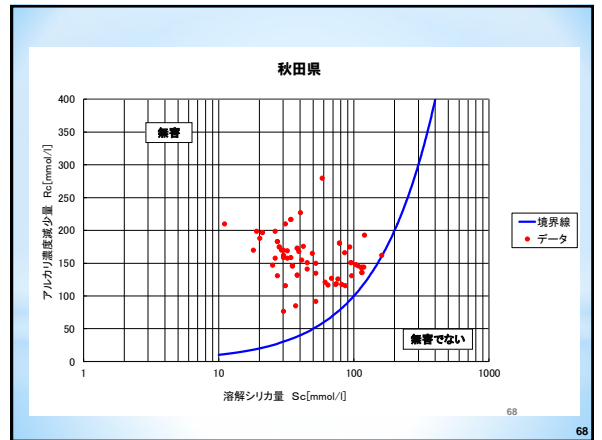
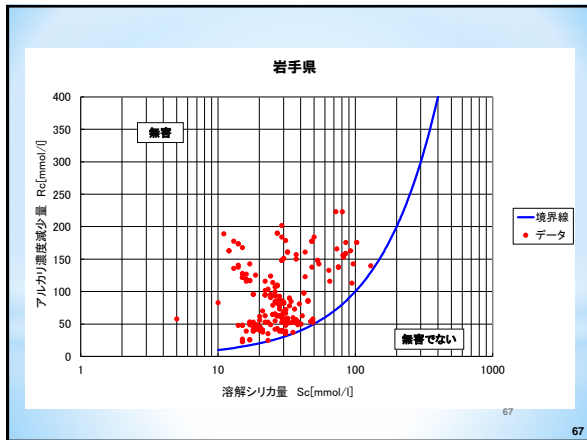
【土木工事技術管理の手引き 8-1 施工計画 8-1-3(4)骨材:平成16年5月】

施工時に当面下記のような措置を行う。

- 1)~3)の中からいずれかを選定する。
- 1)単位セメント量の多い構造物(PC桁等)は、骨材試験(モルタルバー法)による膨張率が小さく、6ヶ月時の膨張量が3ヶ月と比べて膨張率の終息傾向を示す骨材を選定する。膨張量の目安としては出来れば 0.05% 程度以内が望ましい。
- 2)骨材試験(モルタルバー法)にて6ヶ月時の膨張量が3ヶ月と比べて終息傾向を示さず、かつ、判定基準である 0.1% に近い膨張傾向が継続している場合、JIS基準のB区分に準じた対策(アルカリ骨材反応抑制対策:JIS A 5308 附属書2)を行う
- 3)本施工に先立ち、当該骨材を用いて設計配合と同等のコンクリートバーを作成し、コンクリートバー法による判定試験を行い、品質を確認する(但し、6ヶ月以上の期間が必要)

60





アルカリシリカ反応判定種別による対策

～現JISと改定案との比較～

- ① 現JIS規格 (JISA5308より)
 - (1) コンクリート中のアルカリ総量を規制する対策
→ **アルカリ総量 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 以下**
 - (2) アルカリシリカ反応抑制対策のある**混合セメント等の使用**
 - (3) 安全と認められる骨材の使用
→ モルタルバー法では**膨張率 0.1% 未満のもの**
- ② JR東日本版

骨材の区分により、抑制対策の方法を決定

骨材のアルカリシリカ反応判定区分	対策
E有害	混合セメント等による対策
準有害	アルカリ総量を $2.2\text{kg}/\text{m}^3$ に規制する対策 もしくは 混合セメント等による対策
E無害	無対策

71

骨材のアルカリシリカ反応判定区分

(JR東日本版)

モルタルバー法

区分判定の例 (イメージ図)

「E無害」骨材

(a)(b)ともに、膨張率 0.05% 未満であれば、増加の勾配に関係なく、「E無害」と区分

「準有害」骨材

膨張率 $0.05\% \sim 0.10\%$ の間で、かつ13週～26週の勾配が8～13週の勾配と比べて△**大きい**場合は「準有害」と区分

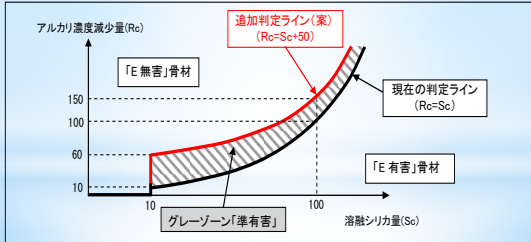
「E有害」骨材

(a)膨張率 0.10% 以上の場合
(b)膨張率 $0.05\% \sim 0.10\%$ の間で、かつ13週～26週の勾配が8～13週の勾配と比べて△**小さい**場合は「E有害」と区分

骨材のアルカリシリカ反応判定区分 (JR東日本版)

化学法

区分判定の例(イメージ図)



73

混合セメントの使用による耐久性の検討 中性化に与えるセメント・水分の影響

Q. 混合セメントは普通ポルトランドセメントと比べ中性化が早いのでは？

A. 暴露試験結果などから中性化に大差は無いという報告
実構造物において、耐久性評価や寿命予測などで構造物単体の中性化深さの調査は行なわれるが類似構造物の群として比較する調査は多くない→全体の実態が不明

実構造物においてセメント種類・水分が
中性化に与える影響について調査を実施

74

混合セメントの使用による耐久性の検討

調査対象構造物

○鉄道構造物

橋梁: 21箇所(経年7~67年)

トンネル: 2箇所(経年74~92年)

○道路構造物: 6箇所(経年10~66年)

○水路施設: 2箇所(経年45~68年)

○建築構造物: 3箇所(経年48~50年)

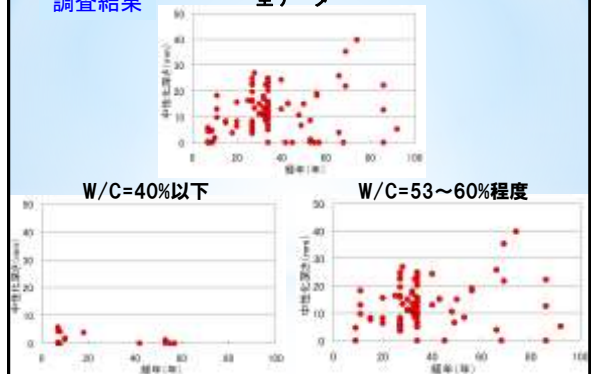
○海洋構造物: 2箇所(経年9年)

計 36箇所

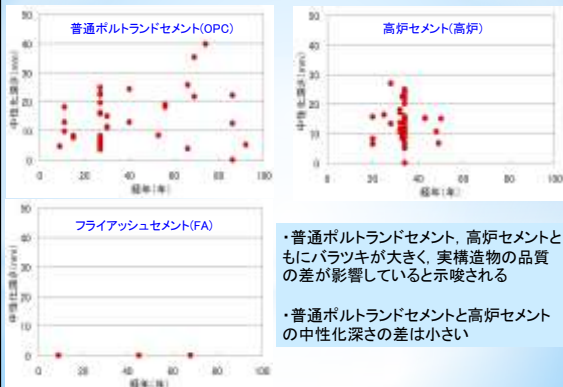
75

75

混合セメントの使用による耐久性の検討 調査結果 全データ



中性化に与えるセメント種類の影響



77

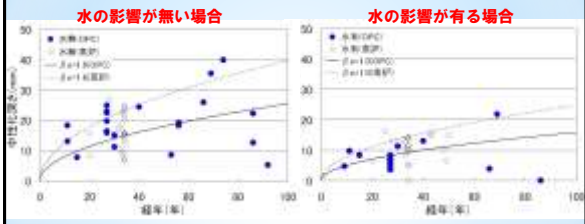
水の影響の有無が中性化に与える影響



78

78

セメント種類による中性化の比較



- ・コンクリート表面に水の影響を受けると中性化の進行が遅くなる
- ・水の影響を区別しても普通ポルトランドセメントと高炉セメントを使用したコンクリートの中性化の差はほとんど見られない
- ・JR東日本では、混合セメントを使用する場合でもセメント区別による耐久設計は行わない(普通ポルトランドセメントと同じ)

アルカリ骨材反応

- ※新潟連続立体交差事業 (H22, FA, JR東日本:H22~)
- ※PC桁：早強コンクリート (H27, FA, JR九州:H24~)
- ※北陸新幹線金沢以西延伸 (鉄道・運輸機構)
- ※NEXCO西日本, JR東海, 日本砕石協会 (JIS規格)

橋りょう支承部

沓座の変状事例

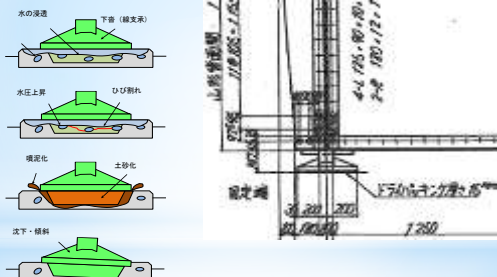
支承沈下の変状が数年毎に繰り返される



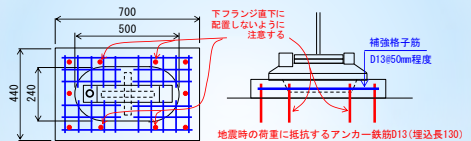
原因：支承下の脆弱したモルタルを除去せずに補修を行ったため

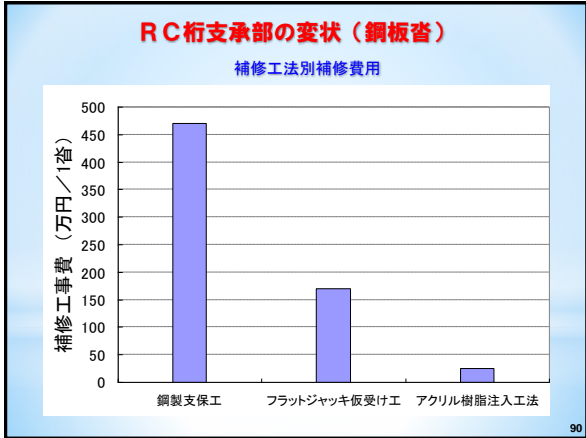
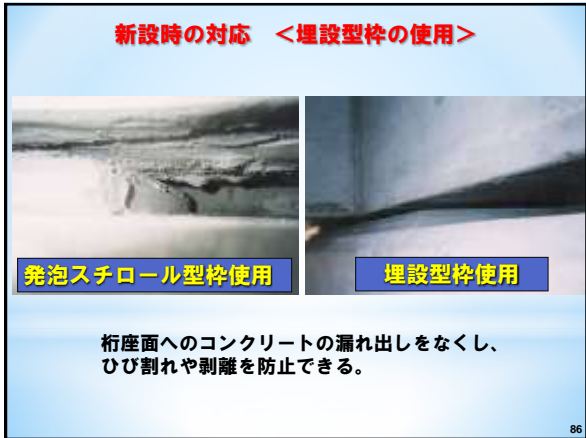
原因を探索していない

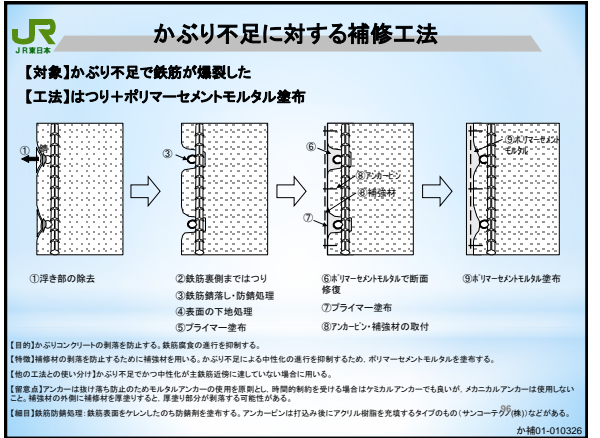
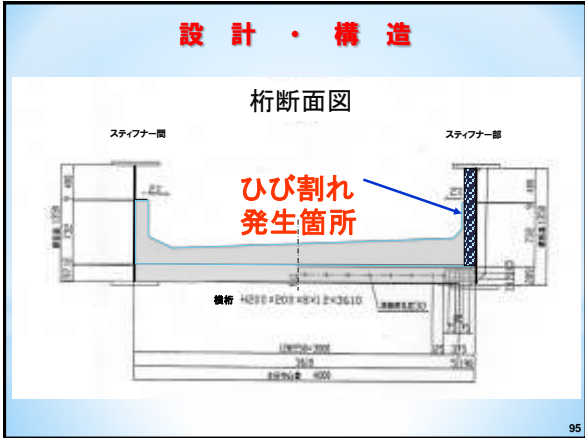
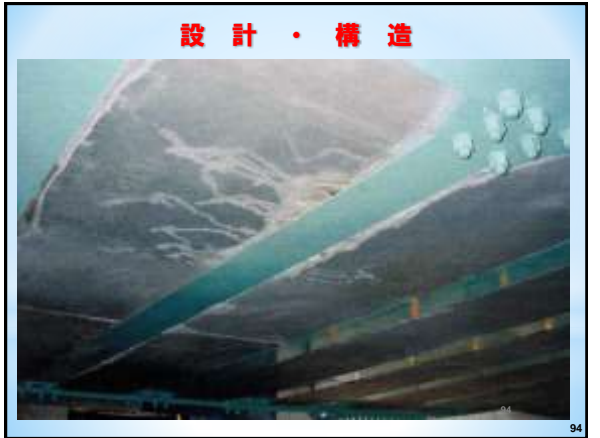
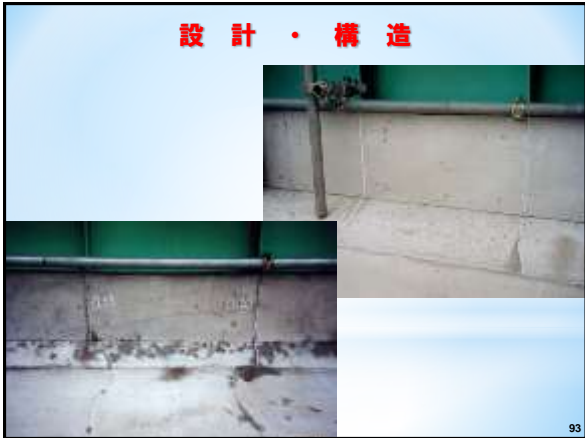
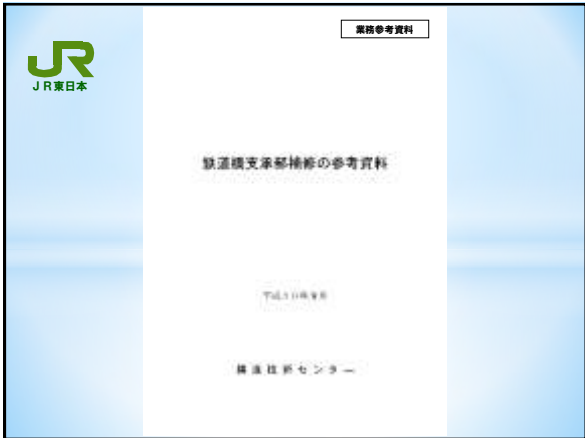
沓座の変状(劣化)メカニズム



沓座の補修例







コンクリート構造物補修の参考資料

建設工事事務局技術センター

適切な補修・補強を行うためには！

(構造物の延命化を確実にする施工を行うための着眼点)

- 材料
コンクリート、鋼材（鉄筋、H鋼等）
樹脂、繊維、シート状、糸状・・・
- 施工
作業時間（昼間、夜間、線路閉鎖、
間合い作業、干満・・・
晴天、降雨
- 作業環境
平地、傾斜地、田園地帯、市街地、狭隘、
高所、線間、線路内・・・

98

98

適切な補修・補強を行うためには！

(構造物の延命化を確実にする施工を行うための着眼点)

- 作業員の技術
誰でも施工可能？
(アルバイト、パート・・・
要 職人技？
(無形文化財、ほとんどいない・・・

連想ゲーム

※そして変状から設計へのフィードバック

99

99

維持管理（補修）とは！

真の原因究明

【本当に原因を理解してますか】

例えば、

- ☆何もしないという選択
- ☆原形復旧が維持管理ではない
- ☆ルールが間違っていることもある
- ☆当時はOKでも現在はNOということも
- ☆不安を解消することも必要

100

100

メンテナンスの3カ条

無知の安心
小知の不安
熟知の理解

101



山陰線 米子・安来間 島田川橋梁 (1908年:M41)

F I N

ご清聴ありがとうございました

103