

小規模橋梁を対象とした点検要領と その事例

十河 茂幸

近未来コンクリート研究会 代表
一般社団法人コンクリートメンテナンス協会 顧問
工学博士 コンクリート診断士

1

十河 茂幸(そごう しげゆき) 略歴

1974年～ 大林組 技術研究所 所属

2011年～ 広島工業大学 工学部 教授

2017年～ 近未来コンクリート研究会 代表
(コンクリートメンテナンス協会 顧問)

2

話の内容

- 社会資本の維持管理の重要性
- RC構造物の予防保全の必要性
- 小規模RC橋梁の点検事例（１）
- 小規模RC橋梁の点検事例（２）
- 小規模RC橋梁の点検事例（３）

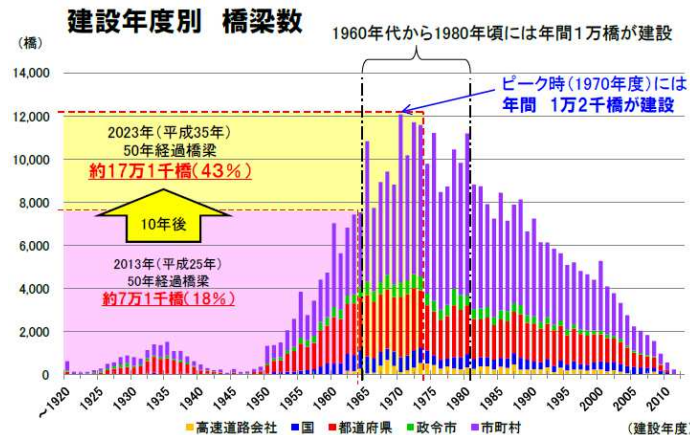
3

1. 社会資本の維持管理の重要性

- インフラの高齢化の実態
- 維持管理の必要性
- 橋梁の維持管理の実状
- 点検結果と補修対応の実状
- コンクリート診断士の資格者

4

インフラ高齢化の実態



令和5年に橋梁の43%が50歳

5

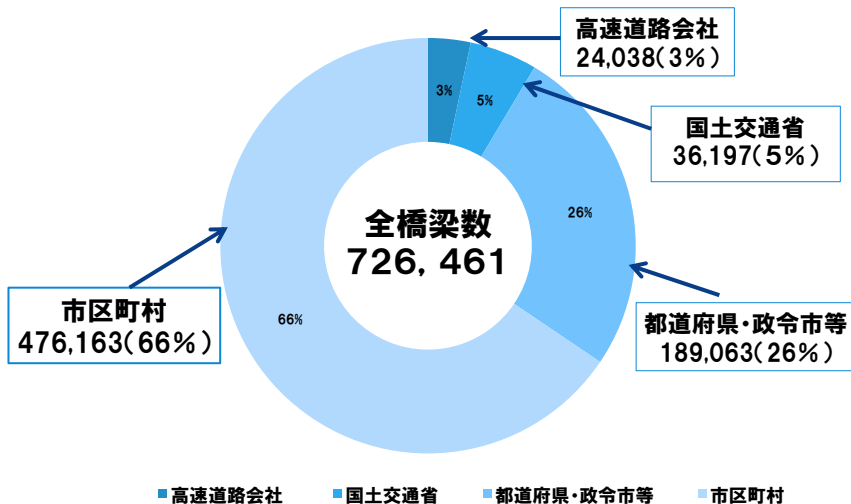
道路橋の数と管理者の実態

- 道路橋 約73万橋(2m以上)
- そのうち市町村の管理が66%
- 2m以下と調査対象も相当数
- 点検後の対応遅れも存在

⇒ 小規模な鉄筋コンクリート橋の点検が急務

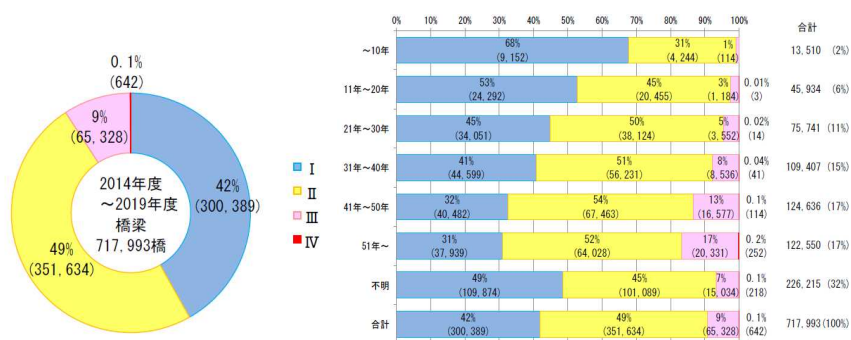
6

維持管理者別の橋梁数の内訳



7

全道路管理者の点検結果 (令和2年メンテナンス年報より)

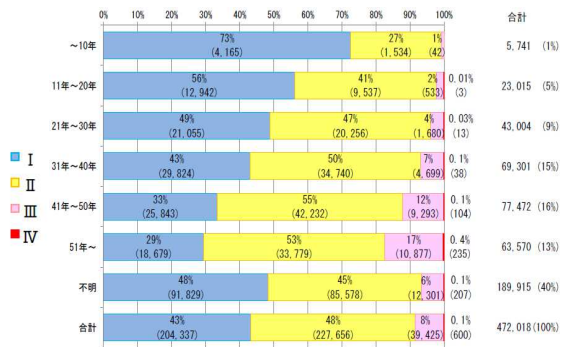
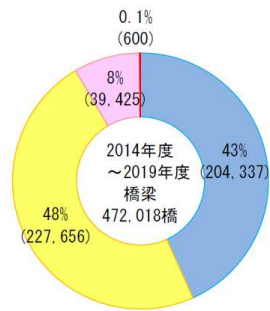


※点検を実施した施設のうち、2020年3月末時点で診断中の施設を除く。

○ 2019年度末時点における判定区分の割合は、橋梁：I 42%、II 49%、III 9%、IV 0.1%、トンネル：I 2%、II 58%、III 39%、IV 0.4%、道路附属物等：I 32%、II 53%、III 15%、IV 0.1%です。

8

市区町村管理者の点検結果（令和2年メンテナンス年報より）



※点検を実施した施設のうち、2020年3月末時点で診断中の施設を除く。

○ 2019年度末時点における判定区分の割合は、橋梁：I 43%、II 48%、III 8%、IV 0.1%、トンネル：I 3%、II 58%、III 37%、IV 2%、道路附属物等：I 19%、II 59%、III 22%、IV 0.3%です。

9

補修対応の実態（1巡目点検の措置の実施状況）

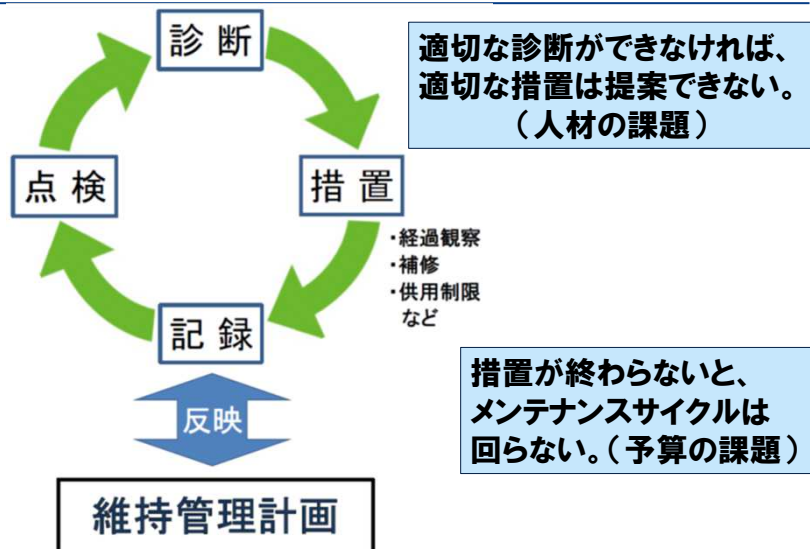
点検済みの劣化度ⅢおよびⅣの橋梁における補修の実施例 （国土交通省編：メンテナンス年報2020年度より）

管理者	修繕が必要 A	修繕に着手 B	修繕が完了 D	着手率 (B/A)	完了率 (D/A)
国土交通省	3,427	2,359	1,071	69%	31%
高速道路会社	2,538	1,202	705	47%	28%
都道府県・政令市等	20,535	9,052	5,057	44%	25%
市町村	42,338	12,324	7,812	29%	18%
合計	68,836	24,937	14,645	36%	21%

I：健全 II：予防保全段階 III：早期措置段階 IV：緊急措置段階
このうち、グレードⅢおよびⅣと判定された橋梁が対象

10

メンテナンスサイクル



11

コンクリート診断士は微増

- 2001年コンクリート診断士制度を設立
 - 2021年4月現在 14,017名が登録
 - 内訳 全国

官公庁等	1,099名 (7.8 %)
コンサル	3,873名 (29.7%)
建設会社	5,429名 (38.7%)
- ⇒ 診断士だけでは対応不能

12

つまり、…

社会資本の整備では、

- ①多くの橋梁を費用をかけないで点検し、
- ②点検頻度を延ばす橋梁を選別し、
- ③早期に補修を要する橋梁に対応する。
- ④これにより、安全・安心の整備を行う。

⇒ よって、予防保全を目的とした点検が必要

13

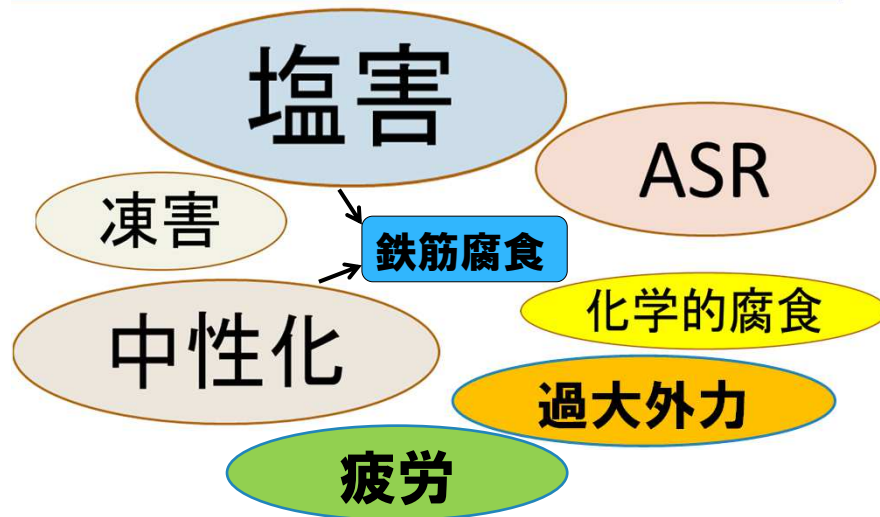
2. RC構造物の予防保全の必要性

- ☐ 劣化要因ごとに異なる症状
- ☐ 進行するまで見えない鉄筋腐食
- ☐ 事後保全より予防保全が安価

⇒ 先を見越した対応が必要

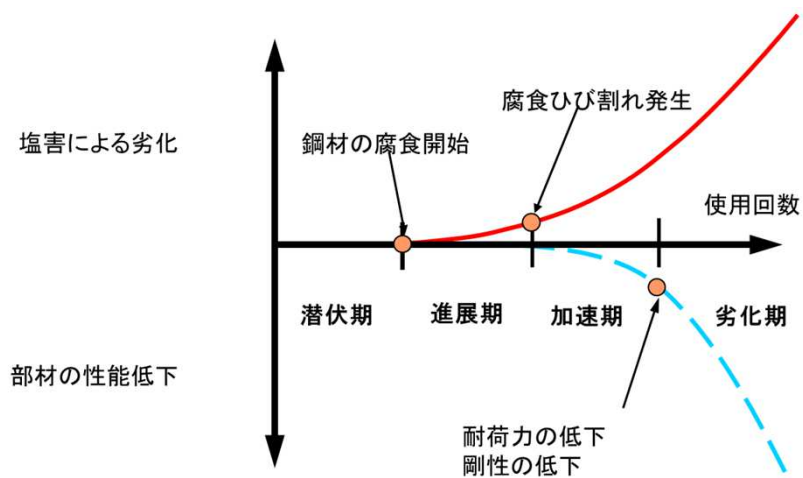
14

コンクリートの老朽化の主要因



15

塩害による劣化進行過程の概念



16

塩害における劣化過程と外観上の劣化状態

劣化過程	定 義	外観上の劣化の状態
潜伏期	鋼材表面における塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまでの期間	外観上の変状はない
進展期	鋼材の腐食発生開始から腐食ひび割れ発生までの期間	腐食開始限界塩化物イオン濃度以上腐食はしているが外観上に変状はない
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	(前期) 腐食ひび割れ, 錆汁発生 (後期) 腐食ひび割れ多数 錆汁, 部分的なはく離, 剥落
劣化期	腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	腐食ひび割れ多数 (ひび割れ幅大) 錆汁, はく離, 剥落 変位, たわみ大きい

2007年制定土木学会コンクリート標準示方書[維持管理編]を参考に作成

17

劣化指標と劣化予測の方法

劣化原因	劣化指標	主な劣化予測方法
中性化	- 中性化深さ - 鋼材腐食の程度 - 鋼材腐食によるひび割れ	$\sqrt{t}$ 則による中性化深さの予測 - 鋼材腐食量 - 鋼材の腐食反応速度
塩 害	- 塩化物イオン濃度 - 鋼材腐食の程度 - 鋼材腐食によるひび割れ	- 塩化物イオン量の浸透深さ - 拡散方程式による塩化物イオンの浸透予測 - 鋼材の腐食量、腐食反応速度
凍 害	- 凍害深さ - 鋼材腐食の程度	断面の減少, 鋼材腐食
化学的腐食	- 劣化因子の浸透深さ - 中性化深さ - 鋼材腐食によるひび割れ	- 変状, 鋼材腐食 - 促進試験による方法
アルカリシリカ反応	- ASRによるひび割れ - 膨脹量	- ひび割れの進展 - コアの促進養生試験による膨脹量

2007年制定土木学会コンクリート標準示方書[維持管理編]を参考に作成

18

劣化要因と潜伏期・進展期の外観

劣化要因	潜伏期	進展期
塩化物イオン	外観上の変状なし 腐食発生限界Cl ⁻ イオン量以内	外観上の変状なし 塩化物イオンによる腐食開始
中性化	外観上の変状なし 発錆限界以上の中性化残り	外観上の変状なし 中性化による腐食開始
ASR	外観上の変状なし 膨張によるひび割れなし	膨張ひび割れの発生 変色、アルカリシリカゲルの滲出
凍結融解作用	外観上の変状なし 凍結融解の繰り返しを受ける	スケーリング、ひび割れの発生 ポップアウトの発生など
化学的腐食	外観上の変状なし 表面の変質が認められない期間	表面が荒れた状態 ひび割れの発生

19

予防保全のポイント

- 一見健全に見えるコンクリートだが・・
- 内部の鉄筋は腐食を開始している。
- 早めの予見が補修を簡単にする。
- 腐食鉄筋の減肉は補強を検討
- 予防保全の対応
 - ⇒ 劣化因子の浸透防止策
 - ⇒ 減肉前に防食対策

20

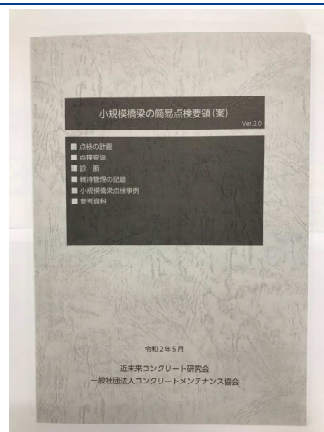
3. 小規模RC橋梁の点検要領の概要

- 外観目視と打音検査では予防保全は困難
- 鉄筋腐食の可能性のある劣化因子を調査
- **中性化深さ測定**から腐食の可能性を予想
- **塩化物イオン量**から腐食の可能性を調査
- その他、基本的な設計・施工状況の調査

⇒ **対策の時機を予見する！**

21

小規模鉄筋コンクリート橋梁の点検要領(案)



小規模橋梁の点検要領は、鉄筋コンクリートの劣化を対象としています。

改訂版(Ver.2)は事例を加え使いやすくしています。

誰でもできる点検を目指して、早期の点検で安価な措置を。

参考にして頂ければ幸いです。 十河茂幸

22

小規模橋梁の点検要領の骨子

- 調査項目を絞る：
環境条件から劣化因子を絞る
- 構造物を傷めない：
微破壊で健全性を調査
- 簡易な装置で劣化調査
特殊な機械を使わない調査
- 調査結果を継続的に記録
劣化は進行性（速度は劣化原因による）

23

小規模橋梁点検要領の流れ

1. 対象とする構造物
2. 劣化因子の特定（塩害・中性化）
3. 設計・施工記録調査（調査項目）
4. 調査計画の立案
5. 調査項目の選定
6. 調査の実施時期
7. 調査成果の整理・分析
8. 記録の保管

24

4. 小規模橋梁の点検事例（1）

- 呉市豊町(大崎下島)
 - ⇒ 海岸近くは塩害劣化の恐れ
 - ⇒ 河川上流は中性化劣化の可能性
- 河川に沿った小規模橋梁
 - ⇒ 橋長の短い無名の橋梁
 - ⇒ 過去に調査の形跡なし

＊ 専門家でなくてもできる方法

25

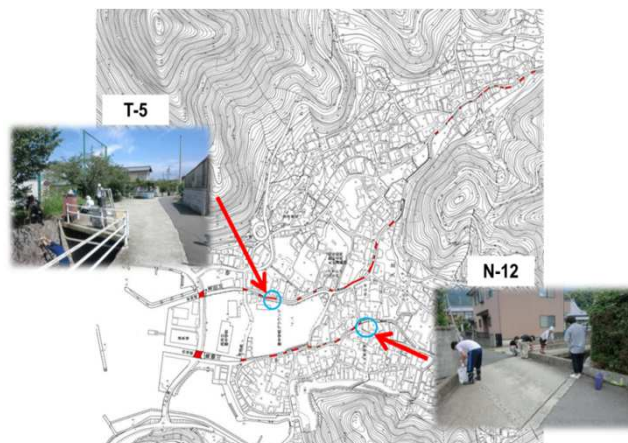
調査対象の町(豊町)



26

島には、多数の橋梁が存在する

対象の橋梁（豊町 T-5、N-12）



27

調査項目

	調査項目	実施項目
1	形状寸法	- 橋梁の寸法・形状の記録 - 調査状況の写真
2	表面観察	- 外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真 - 内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真 - 打音検査(テストハンマー)
3	圧縮強度	リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定 (JIS A 1155, JSCE-G-504)
4	中性化深さ	①ドリル法による粉末測定 (NDIS 3419) ②小径コア側面における変色域を測定 (JIS A 1152) ③削孔した孔の側面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、内視鏡で変色域を測定
5	塩化物イオン量	- 乾式ドリル粉の採取 →実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定

28

外観調査の状況



測量



ひび割れ調査

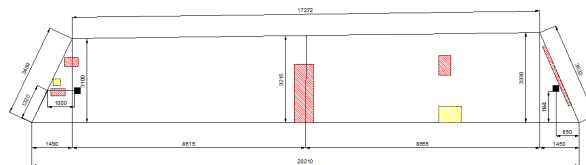
打音検査



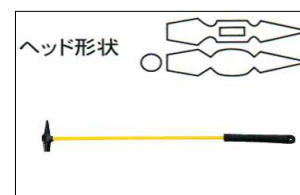
29

外観調査

- ◆ 橋梁寸法測定 メジャーからCAD図面
⇒ 劣化箇所の記入

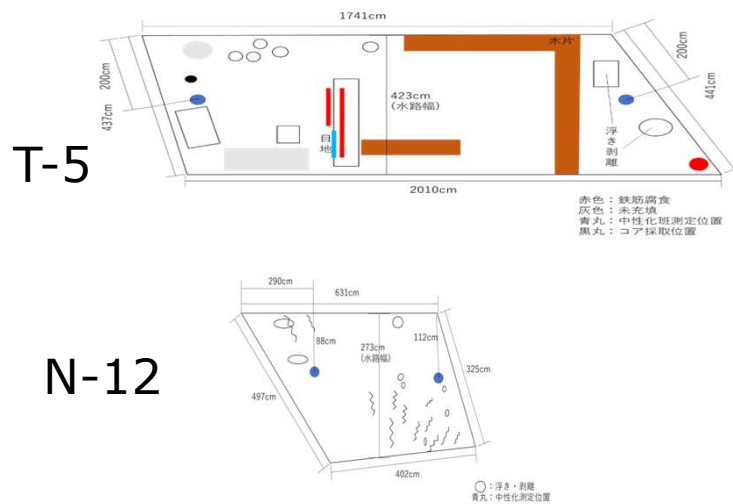


- ◆ 打音調査
ハンマーを使用



30

外観目視と打音検査結果

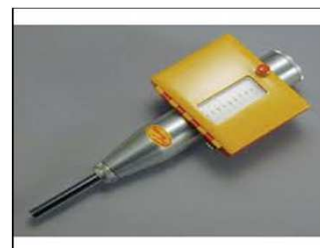


31

設計基準強度の確認

◆ 反発強度測定

シュミットテストハンマーNR型
JIS A 1155は9点
現場では、12点の反発度測定
偏差の大きい3点を除外



◆ 設計記録がなく、一般的な設計基準強度と推定

32

リバウンドハンマーによる測定状況

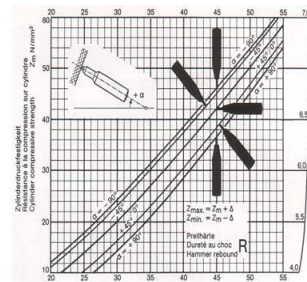


測定の全景



測定の状況

方向による補正方法



33

圧縮強度の推定値



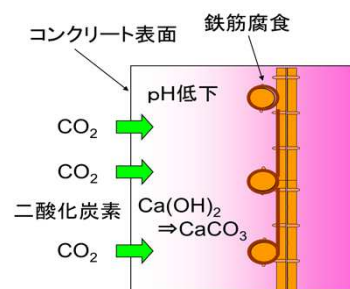
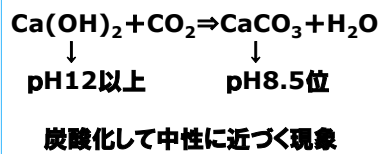
⇒ 2014年と2018年を比較しても大差なし
設計基準強度(推定)に十分な余裕の強度

34

中性化深さの測定と将来予測

◆ 中性化深さ

ドリル法でコンクリート粉末の採取
ドリル径はΦ6mm、最大で5cmまで
フェノールフタレイン溶液で判断



35

中性化深さの測定状況



試料の採取



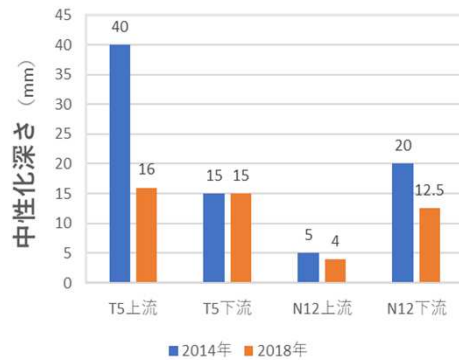
中性化の判定

中性化深さ測定



36

中性化深さ測定結果

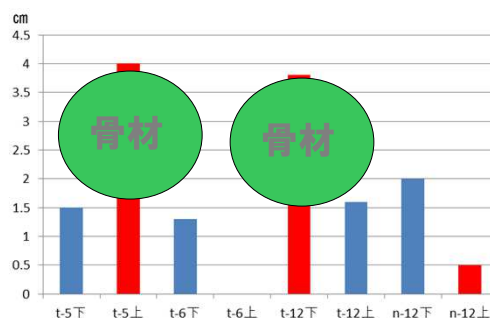


中性化深さは、最大20mm
かぶり厚さを50mm
中性化残り10mmとし、
建設年不明のため、
中性化速度係数を5.0と推定
 $40 = 5\sqrt{t}$
 $t = 64(\text{年})$
 $20 = 5\sqrt{t_0}$
 $t_0 = 16(\text{年})$
今後50年は中性化しないと判定

＊ 2014年と2018年の比較
ドリル径を6mmから8mmで正確性向上
⇒ 鉄筋の腐食までの中性化深さに余裕

37

中性化深さの評価



- ✓ 同じ橋梁で中性化深さに大きな幅。⇒ 骨材の影響
- ✓ 中性化深さは1.3～2.0cmの範囲と判断。
- ✓ かぶり厚さから考え、補修の必要な時期は、20年後以降。
- ✓ 中性化深さは河口からの距離との相関なし。

38

中性化測定方法の改善案



ファイバースコープによる確認

コアによる中性化深さ測定



39

塩化物イオンの浸透深さ調査

◆ 塩化物イオン量測定

ドリルで試料を採取後、
簡易測定キット「クロキット」を使用



簡易塩化物イオン濃度測定器具

40

塩化物イオン量測定のための粉末採取



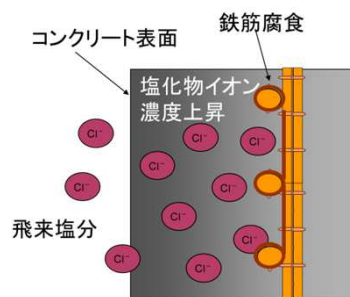
ドリルによる削孔
粉体採取状況

塩化物イオン量用の
粉体採取

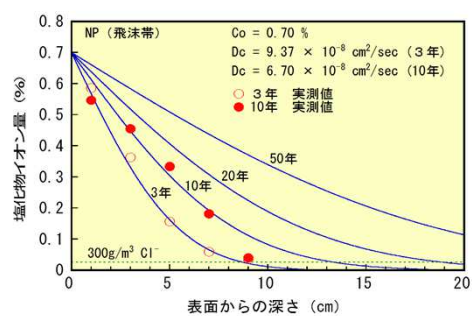


41

塩化物イオンの浸透の概念



注：内在塩分の
可能性も考慮

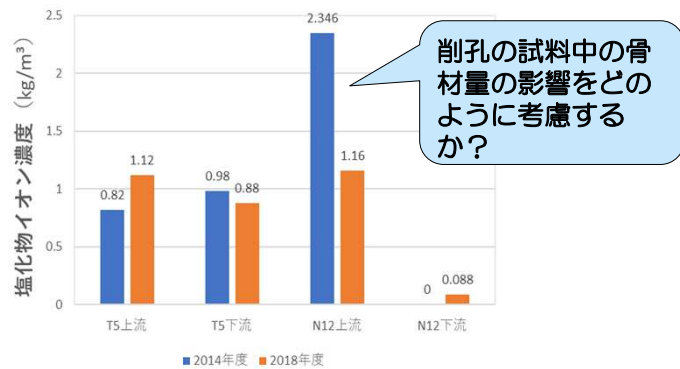


$$C = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c \cdot t}} \right) \right\}$$

D_c : 拡散係数
 C_0 : 表面塩化物イオン量

42

塩化物イオン量の測定結果とその評価



- ＊ 塩化物イオン量の測定結果の2014年と2018年の比較
 粉末のとり方で誤差の可能性大⇒小？
 塩化物イオン量が腐食限界濃度に達していない。
 ⇒ 4年経過では不明だが、内在塩分と判断できる。

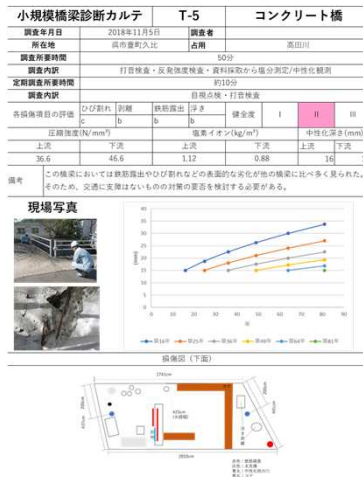
43

健全度の判定

- 外観調査結果の判断 ⇒ 致命的な損傷は無し
初期欠陥は補修が必要
- 中性化深さの判断 ⇒ 中性化による影響が小
- 塩化物イオンの判断 ⇒ 塩化物イオン量は現状小
一部に再調査が必要
- 健全度の判定 劣化グレード II (⇒ I に近い)
 コメント: 塩化物イオン量が多い個所は再調査
 現状は予防保全の段階と判断
 橋梁の防水措置を施すと延命化可能

44

点検結果の整理



- ◆ 強度は安全
- ◆ 中性化深さの測定不要
- ◆ 塩化物イオンは経過観察
- ◆ 施工不良は補修
- ◆ 防水対策を講じる

⇒ 劣化グレード II
初期欠陥の補修で
延命化が可能

45

劣化グレードの定め方

区 分		状 態
劣化グレードⅠ	健全	構造物の機能に支障が生じない段階
劣化グレードⅡ	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
劣化グレードⅢ	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずるべき状態
劣化グレードⅣ	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずるべき状態

46

5. 小規模橋梁の点検事例（2）

- 東広島市 堀田橋3号線 1号橋（福富町）
- 事前調査で劣化グレードⅡの判定
- ボックスカルバート



47

調査項目

	調査項目	実施項目
1	形状寸法	・橋梁の寸法・形状の記録 ・調査状況の写真
2	表面観察	・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真 ・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真 ・打音検査(テストハンマー)
3	鉄筋位置 かぶり厚さ	・電磁波レーダーによる鉄筋の配置 ・かぶり厚さの測定
4	圧縮強度	・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定 (JIS A 1155、JSCE-G-504)
5	中性化深さ	①ドリル法による粉末で中性化深さ測定 (NDIS 3419) ②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色 ③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定
6	塩化物イオン量	・乾式ドリル粉の採取 →実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定

48

配筋状態の調査



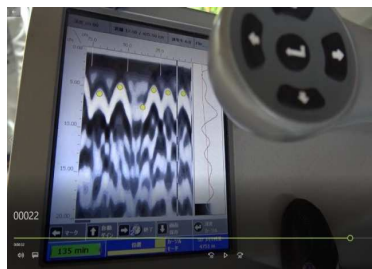
電磁波レーダー法

配筋状態の記録
300mm × 150mm



49

かぶり厚さ調査と外観調査



かぶり厚さ 50mm



1か所で鉄筋腐食
による剥落

50

中性化深測定とその評価

測定箇所		中性化深さ(mm)
上流側	A1橋台側	5.98
	中間部	4.35
	A2橋台側	2.59
中央部	A1橋台側	15.24
	中間部	3.57
	A2橋台側	1.81
下流側	A1橋台側	24.56
	中間部	22.52
	A2橋台側	29.31

建設後39年経過

$t=39$

中性化速度係数の算定

$25=A\sqrt{39}$

$A=4.0$

中性化残り10mmとして

40mmまで中性化する年数

$40=4\sqrt{t}$

$t=100(\text{年})$

⇒建設後100年中性化せず

**＊建設後の年数から将来予測値から判定
現状の判断では、残り60年間は中性化しない**

51

塩化物イオン量の評価

試料名		単位容積質量 (kg/m ³)	塩化物イオン Cl ⁻	
			(mass%)	(kg/m ³)
上流側	深さ0～20mm	2,300	0.060	1.4
	深さ20～40mm		0.052	1.2
下流側	深さ0～20mm		0.072	1.7
	深さ20～40mm		0.007	検出限界未満 (0.2)

塩化物イオン量の濃度は鉄筋位置で腐食限界に未達

52

点検結果の判定

- 強度からの判断
⇒ 十分な強度を確保、配筋も設計を満たす。
 - 外観目視からの判断
⇒ 剥落箇所の鉄筋の防食が必要
 - 中性化深さからの判断
⇒ 中性化による鉄筋腐食は今後60年は未達
 - 塩化物イオン量からの判断
⇒ 現時点では、腐食限界に未達
- (対策) ⇒ 剥落部を補修、塩化物イオン量の増加を防止

53

点検結果に見えない維持管理のポイント



劣化因子の浸透防止
の観点から除去する。

＊維持管理に際して重要なことは、
延命化を目的にしていることを重視

54

6. 小規模橋梁の点検事例（3）

工業団地橋

建設年 1975年
幅員 12.6m
橋長 7.0m



小原橋

建設年 1965年
幅員 4.6m
橋長 4.5m



砂田線1号橋

建設年 2004年
幅員 9.6m
橋長 8.7m

55

調査項目

	調査項目	実施項目
1	形状寸法	・橋梁の寸法・形状の記録 ・調査状況の写真
2	表面観察	・外観調査(ひび割れ、変色、浮き、剥離など)→スケッチ、写真 ・内部不具合調査(空洞、豆板など)→スケッチ、写真 ・打音検査(テストハンマー)
3	鉄筋位置 かぶり厚さ	・電磁波レーダーによる鉄筋の配置 ・かぶり厚さの測定
4	圧縮強度	・リバウンドハンマーによる表面硬度測定から推定 (JIS A 1155、JSCE-G-504)
5	中性化深さ	①ドリル法による粉末で中性化深さ測定 (NDIS 3419) ②ろ紙に噴霧したフェノールフタレイン溶液が赤紫色に呈色 ③ドリルを止めてその時の深さをノギスで測定
6	塩化物イオン量	・乾式ドリル粉の採取 →実験室で簡易塩分測定器「クロキット」による塩分量測定

56

外観調査結果(かぶり厚さ測定を含む)

□ 工業団地橋

かぶり厚さ

上流側 60mm

下流側 60mm



□ 砂田線1号橋

かぶり厚さ

側壁右 40mm

側壁左 70mm



□ 小原橋

かぶり厚さ

上流側 20mm

下流側 20mm



57

推定圧縮強度

□ 工業団地橋

上流側 38.1 N/mm²

下流側 38.5 N/mm²

□ 砂田線1号橋

上流側 34.8 N/mm²

下流側 35.8 N/mm²

□ 小原橋

上流側 38.1 N/mm²

下流側 33.4 N/mm²

**圧縮強度は、
いずれの橋梁
においても、
設計値を満足
していると判断
できる。**

58

中性化深測定とその評価

橋梁名	測定位置	測定値	平均値
工業団地橋	上流側	①3.1 mm ②1.5 mm ③0.9 mm	8.5 mm
	下流側	①22.3 mm ②0.8 mm ③1.4 mm	8.2 mm
砂田線1号橋	側壁A1	①34.0 mm ②18.0 mm ③20.0 mm	24.0 mm
	側壁A2	①14.0 mm ②11.0 mm ③11.0 mm	12.0 mm
小原橋	上流側	①3.5 mm ②8.1 mm ③3.1 mm	4.9 mm
	下流側	①1.7 mm ②23.4 mm ③3.7 mm	9.6 mm

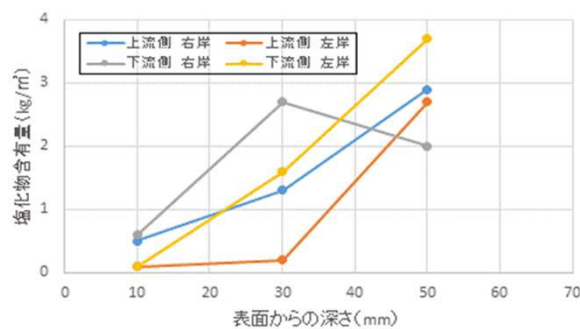
工業団地橋：建設後45年経過 中性化は問題なし

砂田線1号橋：建設後 16年経過 中性化環境が懸念

小原橋：建設後55年経過 中性化は問題なし

59

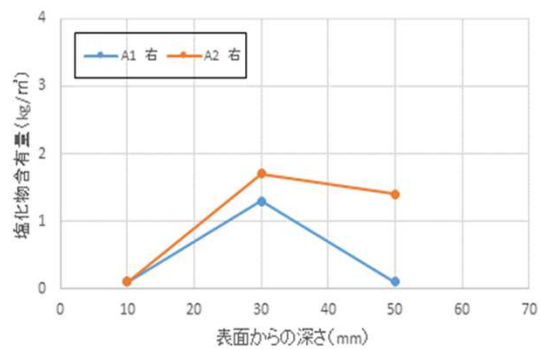
塩化物イオン量の評価（工業団地橋）



**塩化物イオン量の濃度は内部ほど高い。
鉄筋位置で腐食限界濃度に達している。**

60

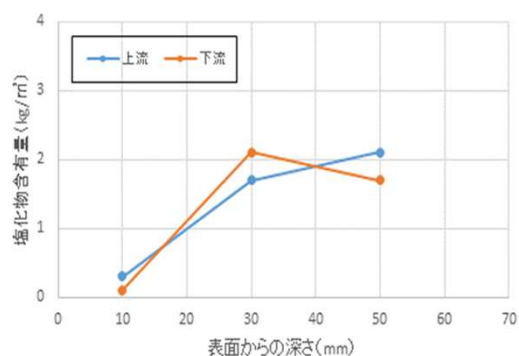
塩化物イオン量の評価（砂田線1号橋）



塩化物イオン量の濃度はかぶり30mmの位置が高い。
鉄筋位置で腐食限界濃度に未達と判断できる。

61

塩化物イオン量の評価（小原橋）



塩化物イオン量の濃度はかぶり厚さ30mm以深で高い。
鉄筋位置で腐食限界濃度に達していると判断できる。

62

維持管理で忘れがちな点



63

7. 健康寿命を延ばす策(まとめ)

- 早めの点検で将来を予測
⇒ 誰でもできる踏み込んだ調査
- 点検と診断を分けて対応
⇒ 点検士(調査)と診断士(判断)
- 早めの措置で経費削減
⇒ 整備予算を有効活用

64