

**土木学会コンクリート委員会 「構造物表層の  
コンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会」**

**「ひび割れ抑制システムによる表層品質の向上」**

横浜国立大学 細田 暁

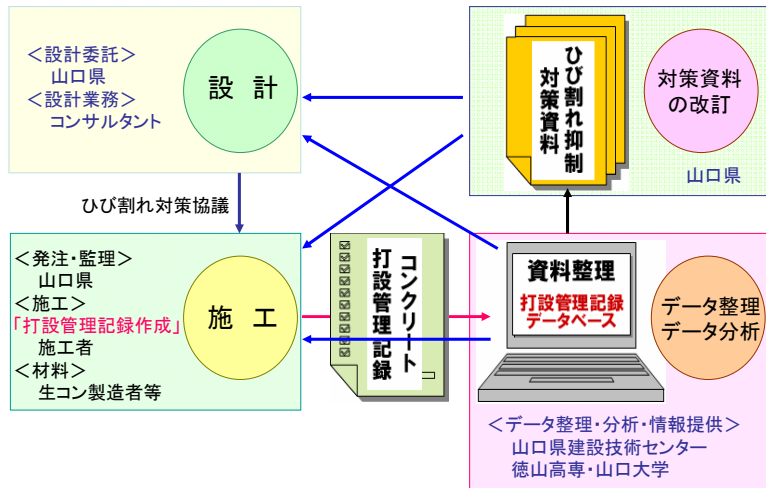
2012.8.22 山口県技術講習会(第7回 一品質確保一)

**山口県のひび割れ抑制システムの本質とは**

- ・ 「ひび割れ」という問題の解決に向けて大きく前進した、一級のマネジメントである。今後も真の解決に向けて進歩を続けるであろう。
- ・ マネジメントとは、望む結果を出すための仕掛けであり、望む結果が達成されなければならない。かつ、かかわるプレーヤーが生き生きと活躍できる仕掛けでないといけない。
- ・ 構造物群で「ひび割れ」を抑制するためには、付け焼刃ではダメ。本質的な取り組みが必要であった。「ひび割れ」そのものは目に見えるサイン、トリガー、きっかけにすぎないが、本質的な取り組みをした結果、表層品質(かぶり)も向上した。「総合品質向上施策」であったと言える。

## 山口県のひび割れ抑制システム

- 施工の基本事項の遵守 → 表層品質（かぶりの品質）の向上
- 打設管理記録 → 品質向上の要因分析が可能



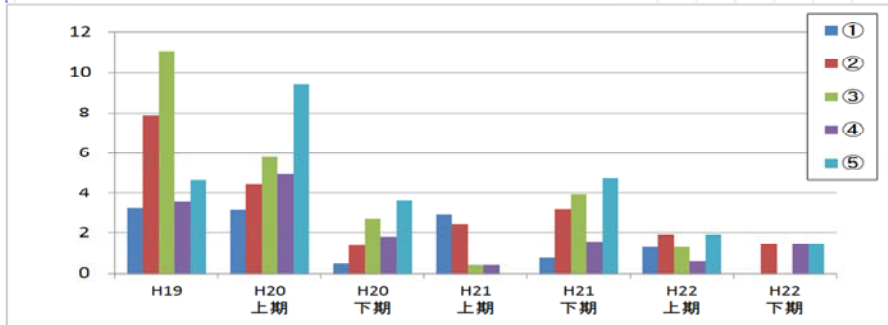
## 山口県のひび割れ抑制システムの特長

- 「**施工の基本事項の遵守**」をシステムとして達成した。
- ひび割れ抑制対策が、毎回の工事で**事後検証**される。
- 事後検証は、**維持管理においてこそ真価を発揮する**。
- 「**打設管理記録**」という**データベース**を積極的に「公表」。「公表」することの効果は計り知れない。
- 発注者・施工者・材料供給者・学などが協働で取り組むクリエイティブな仕組みであり、データベースを核とする説得力のある仕組みである。

## 施工の改善状況

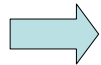
### 施工状況把握チェックシートの分析結果

チェック項目	H19	H20		H21		H22		
		上期	下期	上期	下期	上期	下期	
		打設ロット数						
	280	224	219	241	127	157	69	
パイプレーターを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。	①	9	7	1	7	1	2	0
パイプレーターは鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下か。	②	22	10	3	6	4	3	1
締め固め作業中に、振動機を鉄筋等に接触させていないか。	③	31	13	6	1	5	2	0
パイプレーターでコンクリートを横移動させていないか。	④	10	11	4	1	2	1	1
パイプレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。	⑤	13	21	8	0	6	3	1



## 橋台の調査 (2010年7月28~29日)

① 抑制対策前  
(流通センター, 2002)



② 鍛冶畑川橋 (2005.9~, 低熱セメント)



抑制対策当初

③ 四十八瀬川橋  
(2007.1~2, 養生の工夫)



④ 国道2号橋 (2006~2007)  
制御鉄筋等によるひび割れ抑制)



ひび割れ抑制対策前 橋台（流通センターIC）



ひび割れ抑制対策前 橋台（流通センターIC）



ひび割れ抑制対策前 橋台（流通センターIC）

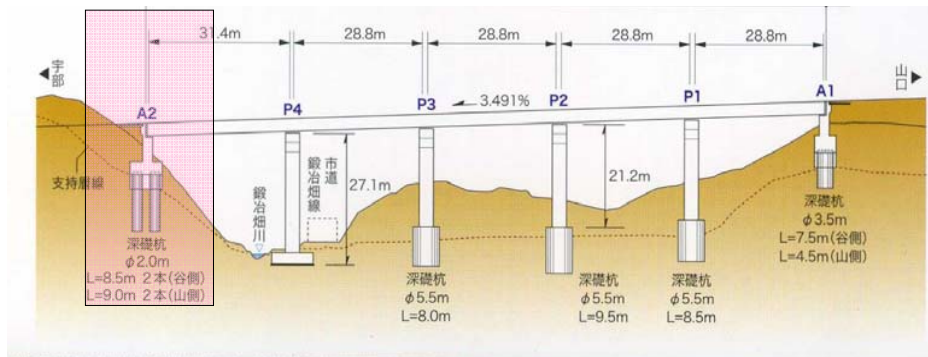


ひび割れ抑制対策前 橋台（流通センターIC）



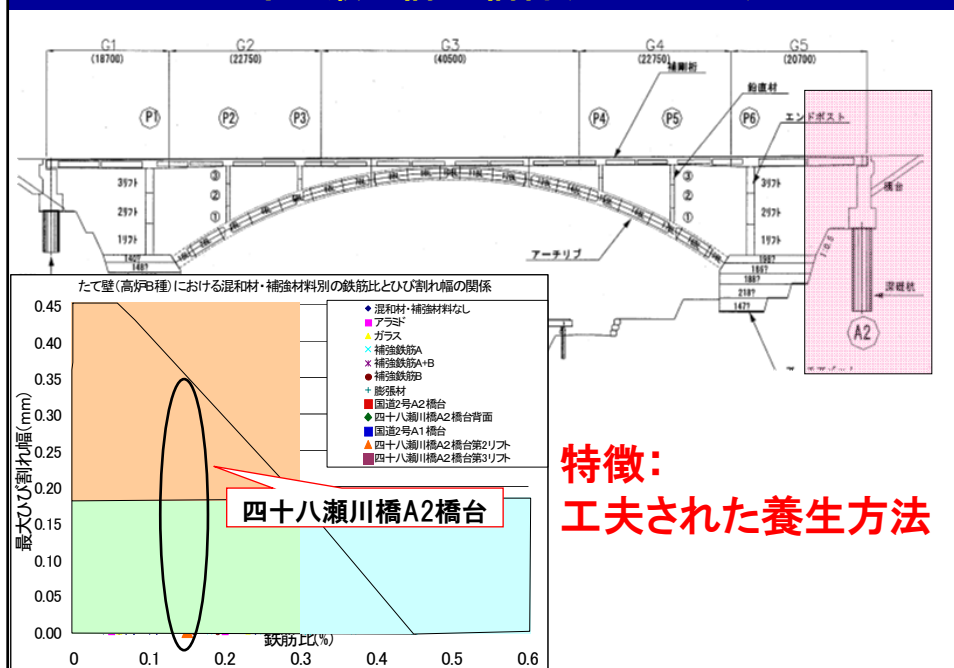


## 鍛冶畑橋A2橋台 (2005, 抑制対策の取組み開始時)



**特徴: 高炉セメント(第1, 2リフト)**  
**低熱セメント(第3~5リフト)**

## 四十八瀬川橋A2橋台(2007.1~2)



## 四十八瀬川橋A2橋台 測定趣旨

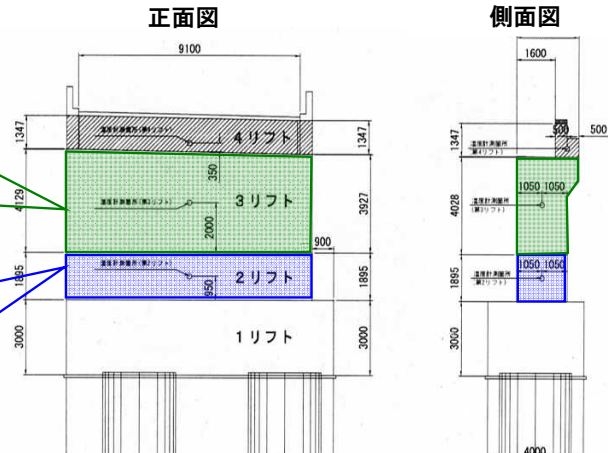
### 測定趣旨

**養生方法による表層品質への影響把握**  
 (型枠面:散水後マスキータープ, 打設面:散水養生)

### 測定箇所

**<第3リフト>**  
 打設日:2007. 2.15  
 セメント種類:高炉B種  
 型枠残置期間:19日  
 養生期間:14日

**<第2リフト>**  
 打設日:2007. 1. 25  
 セメント種類:高炉B種  
 型枠残置期間:40日  
 養生期間:9日



## 四十八瀬川橋A2橋台 養生方法

**型枠面:散水後マスキータープ**  
**打設面:散水養生**

夜間平均気温が2~5℃となっているため給熱養生を実施



### 方法

- ① 施工足場外周に養生用シートを設置
- ② シート内に投光機を設置しシート内温度(約5℃)を確保
- ③ コンクリート天端仕上げは、皮膜養生剤を散布
- ④ コンクリート表面の硬化が確保された段階で、養生マットを天端に敷き散水養生を実施

外周足場冬季用常用シート設置

大成建設より提供

## 四十八瀬川橋A2橋台 脱型後の養生方法

型枠面:散水後マーカーテープ

打設面:散水養生



方法

- ①脱枠後は初期点検終了後に養生用シート(マーカーテープ)を準備し、躯体表面に散水した後に、養生用シートを貼り付けシート端部を粘着テープでとめる
- ②養生用シート設置後は、定期的に点検し、シート内部が乾いた際は、適宜、散水を実施
- ③養生用シートの設置期間は足場解体時期を考慮した上で出来る限り長期間設置

脱型後コンクリート養生(マーカーテープ)

大成建設より提供

## 国道2号高架橋A1橋台



特徴:ひび割れ抑制対策の目玉の一つ  
乾燥の影響?  
橋台における施工条件の影響



## Boxカルバートの調査(2010年7月28~29日)

① 抑制対策前  
(市道中ノ岡 多良郷線, 2003)



② NランプBox  
(2008~9)



## 抑制対策前のBoxカルバート



抑制対策前のBoxカルバート

微細な沈みひび割れ

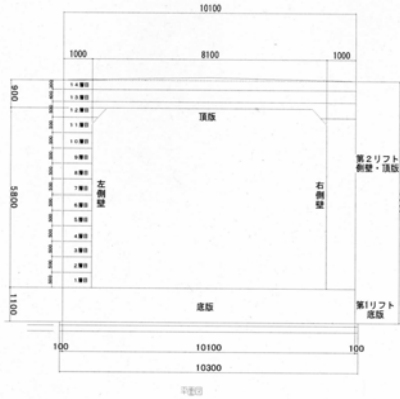


抑制対策前のBoxカルバート

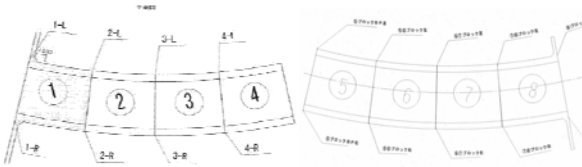
頂版に発生する軸方向のひび割れ



## NランプBOX



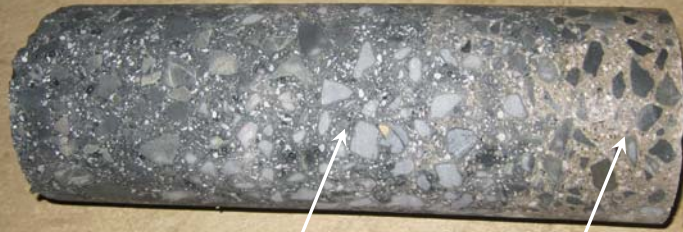
特徴: 抑制対策後の表層品質  
施工条件の影響  
高温の影響  
測定結果の空間的ばらつき



## NランプBOX 水掛け観察



5つの構造物から3本ずつのコアを採取して、  
研究機関で分析



スラグによる青色      青色が失われた領域

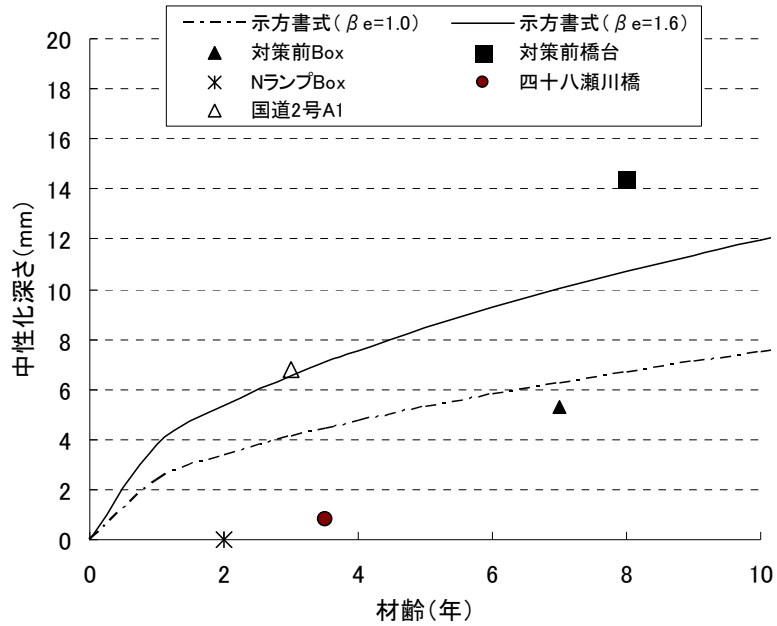
NランプBoxから採取したコア(材齢2年)

### 山口県の構造物の調査項目

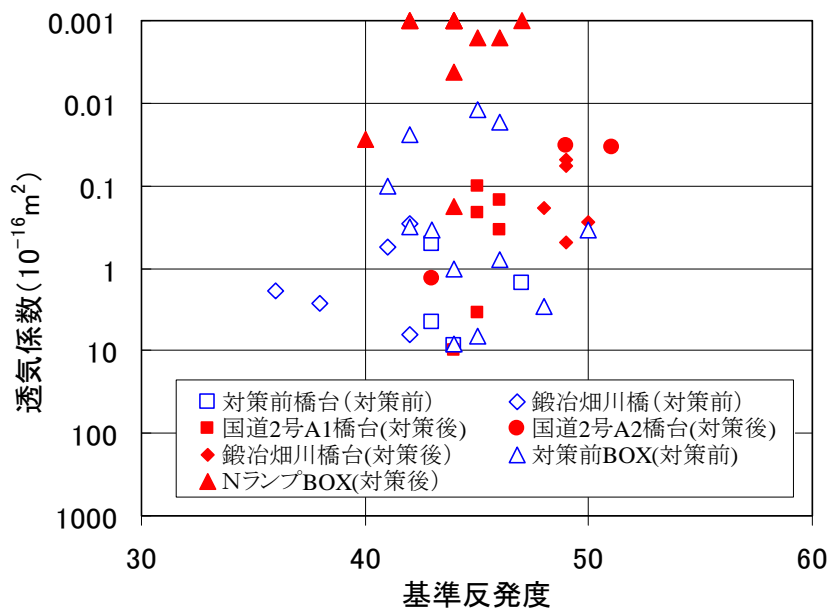
335委員会  
報告書

	調査・分析内容	報告書節
現場調査	表面吸水試験, 表層透気試験など	4.3.1
	散水試験	4.3.2
	超音波法 (土研法)	4.3.3
	衝撃弾性波試験 (接触時間)	4.3.4
	中性化深さ	4.3.5
	含水率分布	4.3.6
	表層透気試験, 電気抵抗率, リバウンドハンマー	4.3.7
コアの分析	酸素拡散試験, 透気試験, 表面吸水試験 (コアNo.1)	4.4.1
	促進中性化試験 (コアNo.2)	4.4.2
	かさ密度, ビッカース硬さ分布, 空隙率, 空隙径分布, 超音波法 (土研法) (コアNo.3)	4.4.3

### 実構造物の中酸化深さ(コア採取時に計測)

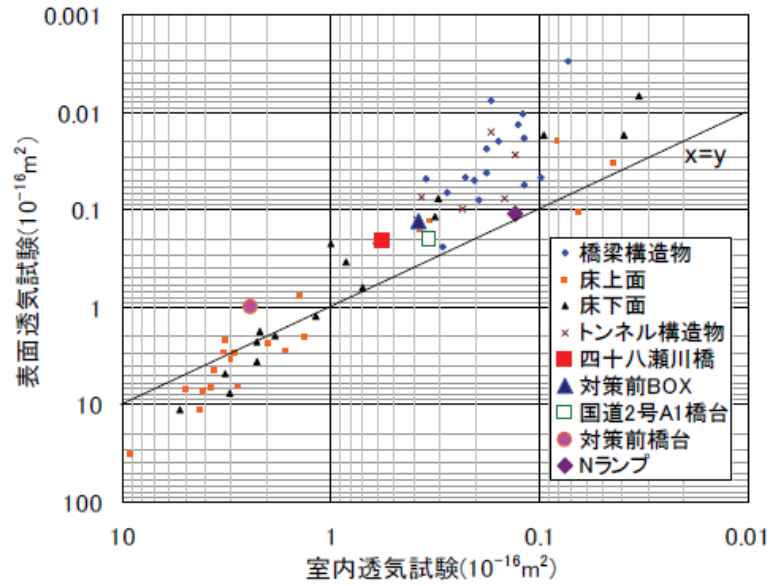


### リバウンドハンマーと表層透気試験の結果

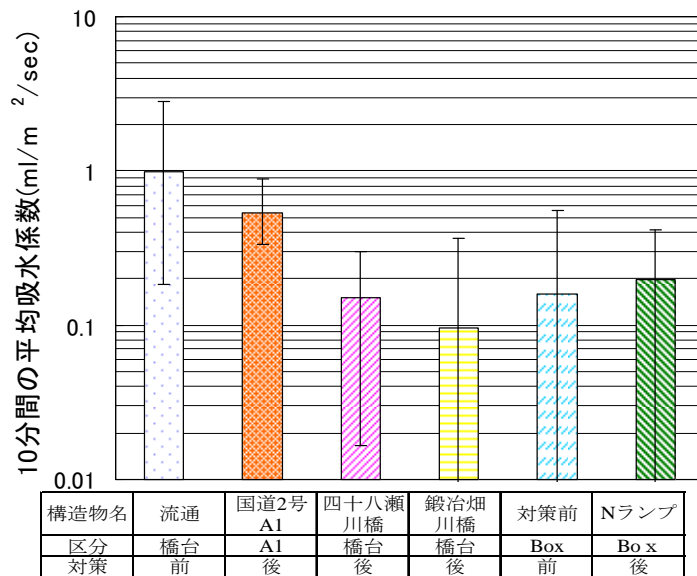




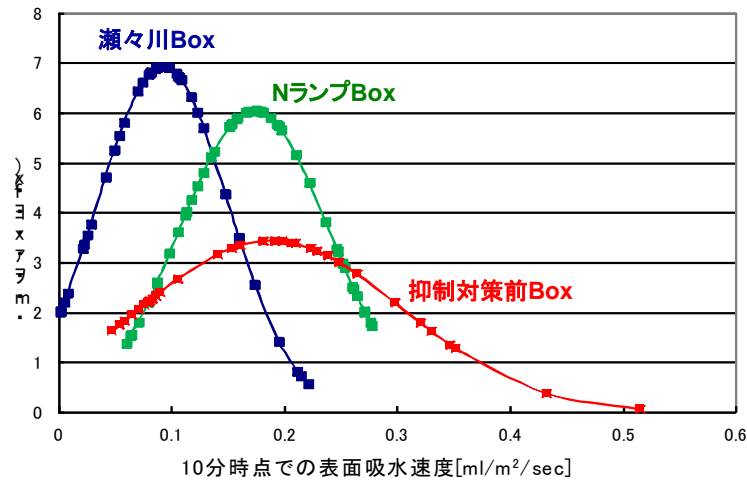
## コアの室内透気試験と実構造物の表層透気試験の結果



## 表面吸水試験の結果



## 表面吸水試験の結果(BoX, 2011年12月末の追加調査)



	抑制システム前ボックス	抑制システム後標準施工ボックス	抑制システム後施工良好ボックス
10分時点での表面吸水速度	0.191	0.216	0.098
標準偏差(平均からのバラつき)	0.116	0.066	0.058
測定点数	33	67	42
平均養生日数	不明	7日	20日
生コンの管理状態	不明	普通	良好

## コンクリート構造物の耐久設計指針(案)による評価

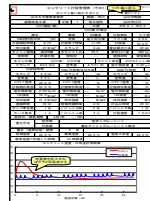
耐久設計指針(土木学会コンクリートライブラリー 1994年発行)

耐久性に影響を与えると考えられる施工や材料の影響を定量化し、コンクリート構造物の一般的な耐久設計指針を初めて示したものである

$$T_p = 30 + \sum T_p(I, J)$$

- $T_p(1, J)$  設計作業・部材の形状・補強材の種類・詳細・設計図
- $T_p(2, J)$  設計ひび割れ
- $T_p(3, J)$  特別な型枠, 表面防護法
- $T_p(4, J)$  **コンクリート材料**
- $T_p(5, J)$  **コンクリート**
- $T_p(6, J)$  **コンクリート工**
- $T_p(7, J)$  鉄筋工・型枠工・支保工
- $T_p(8, J)$  PC工の補足事項

算出



山口県の実構造物データベース

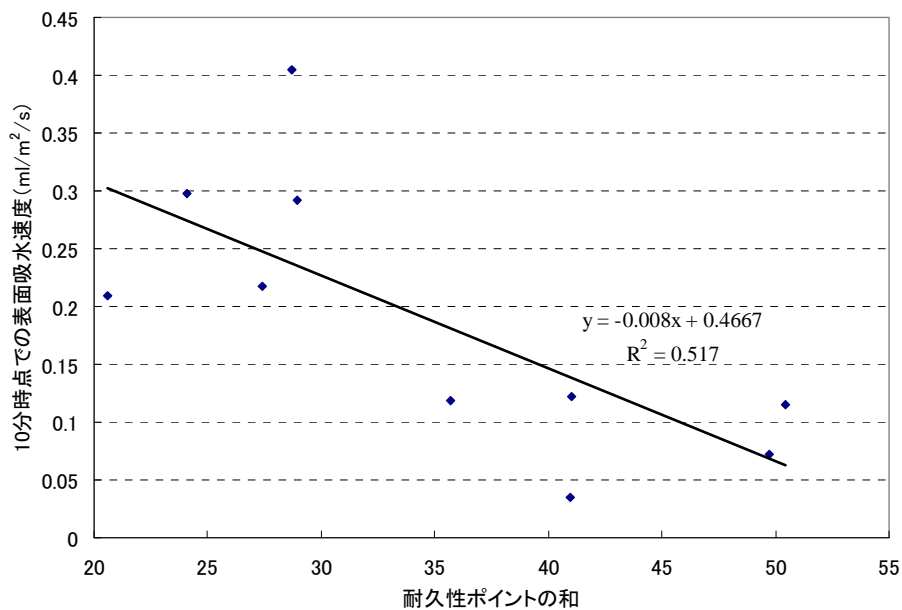
+

山口県材料業者の方へのヒアリング

※各項目の上限値, 下限値は今後の研究開発により, 変更できる仕組み

実績と研究成果に基づいて施工や材料の影響を定量化しているが, 各ポイントの重み付けが経験則に基づいているなどの原因から実用化には至っていない

## 表面吸水試験の結果と耐久性ポイントの相関



土木学会コンクリート委員会  
「構造物表層のコンクリート品質と  
耐久性能検証システム研究小委員会」

## 山口県の構造物から採取したコアの 物質移動抵抗性に関する分析

細田 暁, 林 和彦, 半井健一郎, 李 春鶴,  
石田哲也, 高橋佑弥, 松田芳範

2012.7.19@335シンポジウム

## コアを採取した構造物

- ・ひび割れ抑制システムの前後, 合計5つの構造物から, 3本ずつコアを採取
- ・本研究では, そのうち2本のコアを用いて, 物質移動抵抗性について分析した
  
- ・**コア1:** 促進中性化試験(東大)
- ・**コア2:** 酸素拡散試験(群馬大) → 透気試験, 表面吸水試験(横浜国大)
- ・**コア3は,** 電中研, 土木研究所で, 空隙径分布やかさ密度などの分析

構造物名	構造形式	ひび割れ抑制対策	調査L/BL <sup>1)</sup>	打設時期(試験時材齢)	セメント種類	W/C(%)	単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	呼び強度(N/mm <sup>2</sup> )	打設面養生期間	型枠残置期間	養生方法
対策前橋台(流通IC橋台)	橋台たて壁	前	地上部 <sup>2)</sup>	2002年(8年)	高炉B種	54.5	—	24	—	—	—
国道2号A1橋台	橋台	後	2L	2007年4月(3年3ヶ月)	高炉B種	54	162	27	10日	24日	型枠面: 型枠 打設面: 養生マット+散水
四十八瀬川橋	橋台	後	2L	2007年2月(3年5ヶ月)	高炉B種	54	163	24	14日	19日	型枠面: 散水後マスキングテープ 打設面: 散水
対策前BOX	BOXカルバート側壁	前	3BL	2003年(7年)	高炉B種	54	—	24	—	—	—
NランプBOX	BOXカルバート側壁	後	8BL	2008年9月	高炉B種	54	162	27	10日	11日	型枠面: ブルーシート+散水

## 中性化深さ(松田委員)

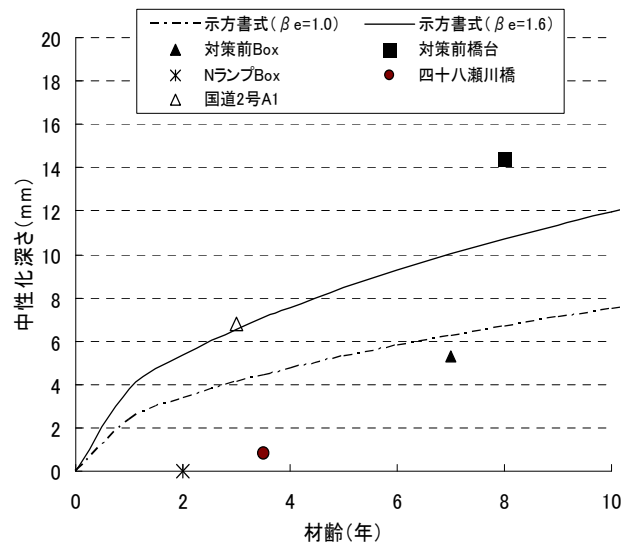


図2 中性化深さの測定結果

### 促進中性化深さ測定結果(東大)

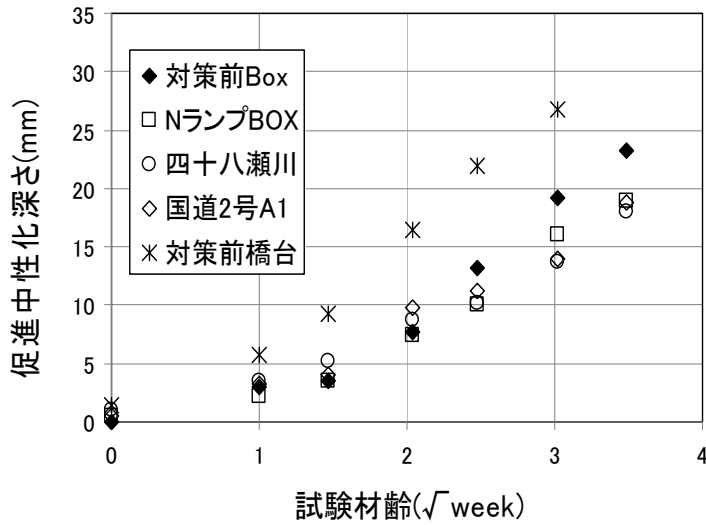
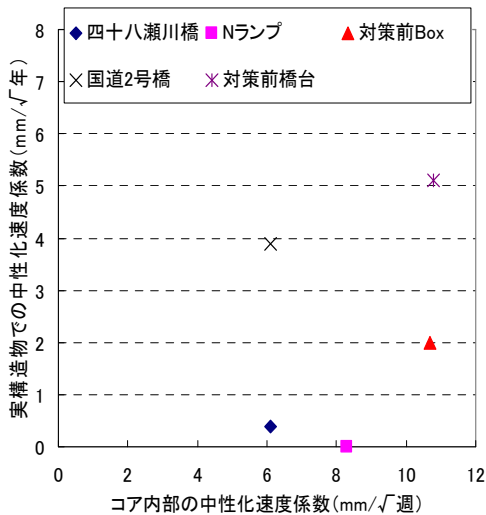


図3 促進中性化深さ測定結果

### 促進試験と実環境の中性化速度係数の比較



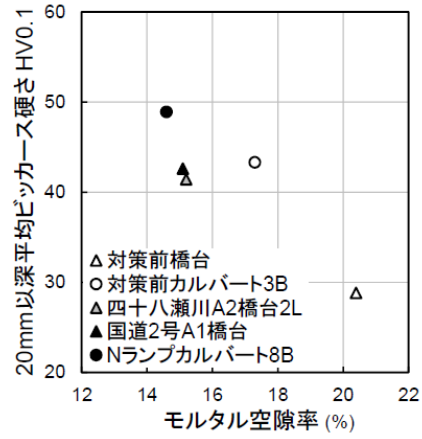
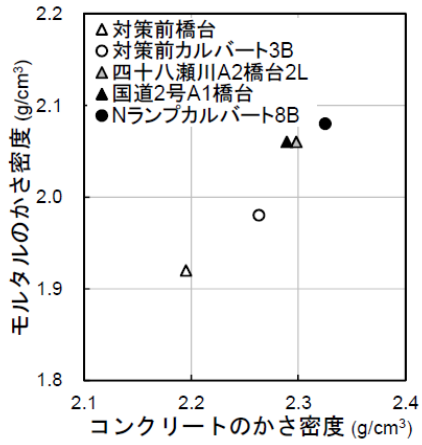
・対策前の構造物の内部のコンクリートの促進中性化の抵抗性は低い。

・内部のコンクリートの促進中性化抵抗性は同程度であっても、四十八瀬と国道2号では、実構造物での中性化速度はかなり異なる。

図4 促進試験と実構造物での中性化速度係数算定結果



## コアNo.3の分析結果(蔵重勲 副委員長の結果)



## 酸素拡散試験の結果(群馬大)

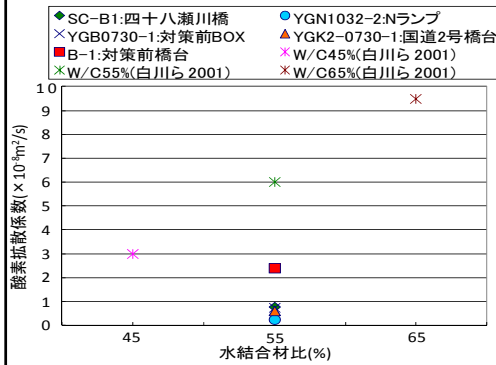


図5 コアの酸素拡散係数と既往の実験

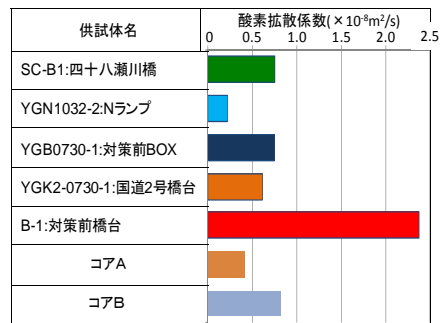


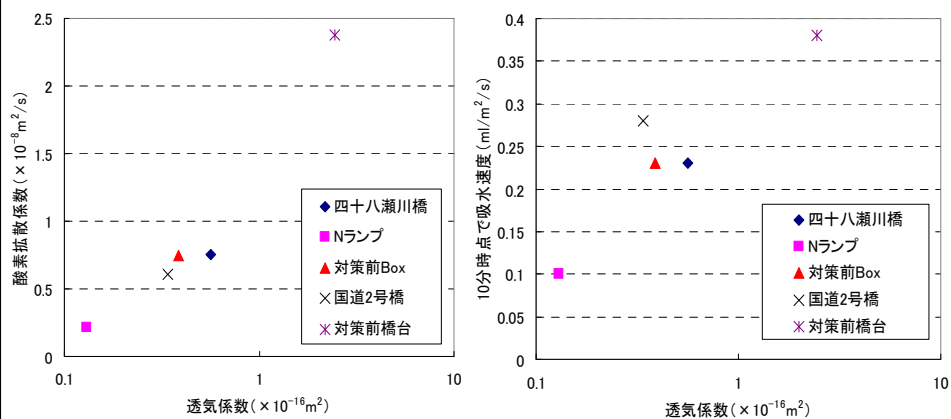
図6 酸素拡散係数(実構造物)

## コアの表面と内部(40mm)の表面吸水試験の結果(横浜国大)

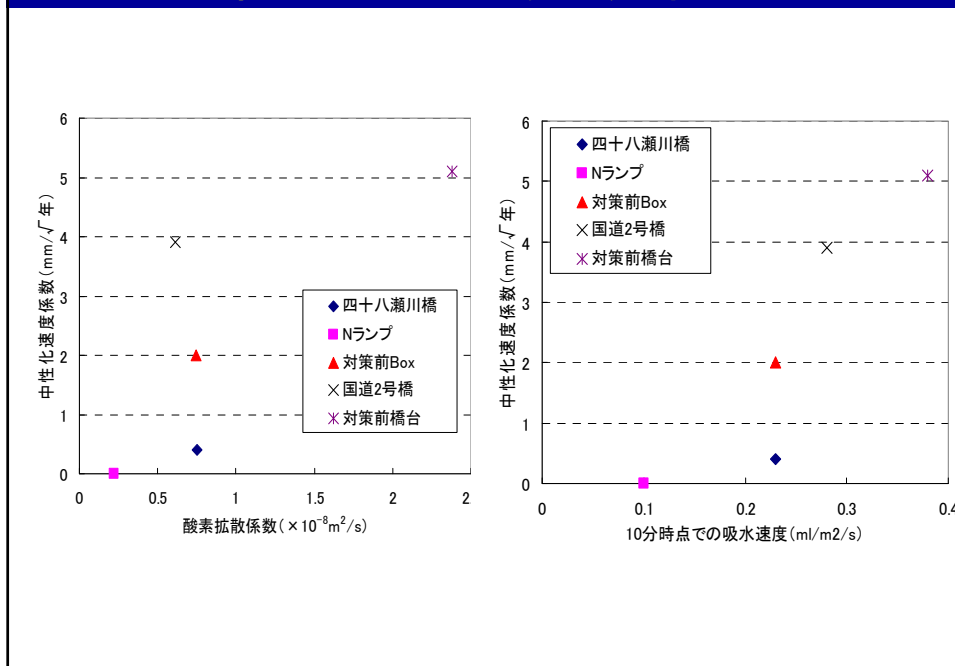
表3 コアと実構造物の表面吸水試験結果

<i>a</i>	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	12.80	3.60	2.33	3.19	1.96
コア表面	7.53	2.22	4.21	3.22	1.48
コア40mm位置		2.28	2.23	2.80	9.09
<i>n</i>	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	0.43	0.35	0.66	0.43	0.42
コア表面	0.62	0.41	0.58	0.52	0.53
コア40mm位置		0.52	0.49	0.49	0.77
吸水係数(ml/m <sup>2</sup> /sec)	対策前橋台	国道2号A1橋台	四十八瀬川橋	対策前BOX	NランプBOX
現地試験	0.99	0.53	0.15	0.26	0.14
コア表面	0.38	0.28	0.23	0.23	0.10
コア40mm位置		0.06	0.13	0.19	0.27

## 各指標の相関



## 各指標と中性化速度係数の関係



## まとめ

ひび割れ抑制システムが運用されている山口県の橋台、ボックスカルバートからコアを採取し、物質移動抵抗性に着目した分析を行った。橋台、ボックスカルバートそれぞれにおいて、ひび割れ抑制システムの運用後の構造物のコアが高い物質移動抵抗性を示した。

各指標の相関についても検討し、表面吸水試験による10分時点での吸水速度が、透気試験や酸素拡散試験に比べると、実構造物の中性化速度係数と良い相関を示した。透気試験と酸素拡散試験は40mmの厚さのコアから得られた値であるのに対して、表面吸水試験の結果は40mmのうちの表層部の品質と関連が強いことも一因であると考えられる。

謝辞: 本調査にご尽力いただきました、山口県の国重典宏氏(故人)は、2011年12月の追加調査の直前にご逝去されました。国重氏が熱意を燃やされていたひび割れ抑制システムが今後発展し、コンクリート構造物の高耐久化に本研究の成果がわずかでも貢献できればと願っております。ご冥福をお祈りいたします。