

沖縄県でのコンクリート橋の塩害劣化と その対策に関する研究

琉球大学名誉教授
大城 武



塩害の主要因

海砂に伴い混入する塩化物(内在塩化物)
海水飛沫が浸透する塩化物(外来塩化物)

基準類の変遷(内在塩化物 土木分野)

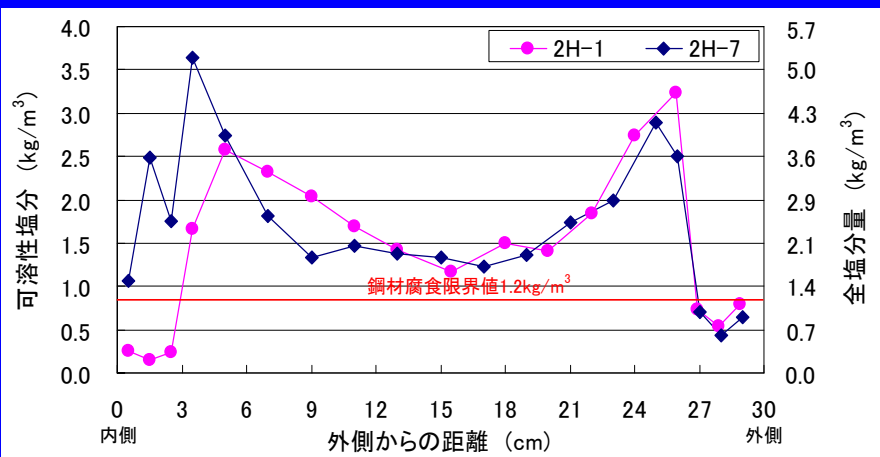
昭和49年(1974年):RC標準示方書 海砂の絶乾重量に対し、
NaClに換算して0.1%

昭和53年(1978年):JIS A 5308:レディーミクストコンクリート
(土木用骨材)、細骨材の絶乾重量に対し、
NaClに換算して0.1%

昭和61年(1986年):JIS A 5308レディーミクストコンクリート、
荷卸し地点
Cl⁻イオン量 0.3kg/m³以下



室内かぶり剥離



塩分量分布 2号棟北側1,7階梁

浦添市内団地床板落下事故
未洗浄海砂使用



原因：塩化物による鉄筋腐食、配筋ミス



海砂除塩：浸水法
海砂投入完了



工業用水注入



除塩 散水中



散水中



塩分量測定器



外来塩化物による 塩害事例



伊平屋村野甫橋



伊平屋村野甫橋

昭和53年(1978年)建設、橋長62m



塩害の状況



供用22年後の状況



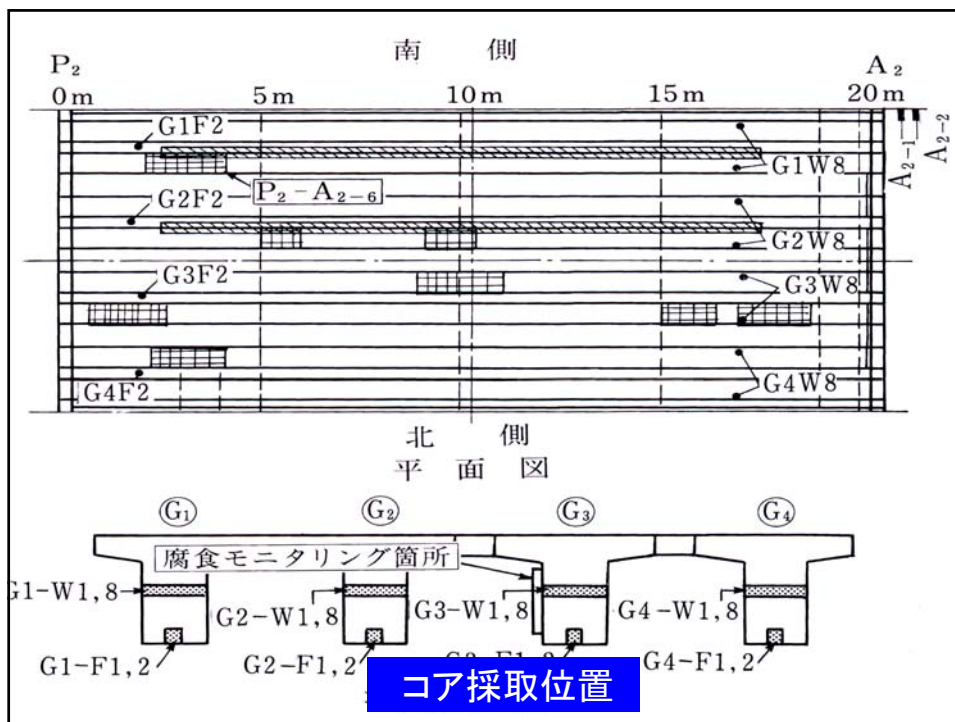
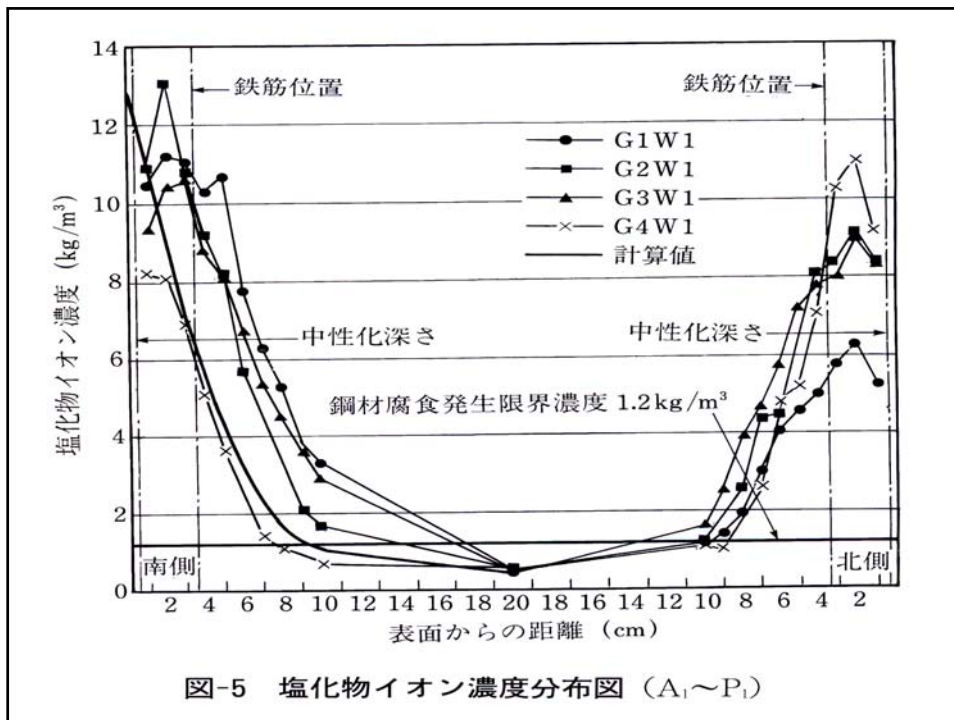


表-4 圧縮強度および静弾性係数試験結果

測定箇所		圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (kN/mm ²)	
		実測値	設計値	実測値	設計値
主げた	A ₁ ~P ₁	53.3 ^{*1}	40	37.3	31
		57.1 ^{*2}			
	P ₂ ~A ₂	56.3 ^{*1}		38.2	31
		62.7 ^{*2}			
橋台	A ₂	20.8 ^{*1}	18	—	—
橋脚	P ₁	22.1 ^{*1}	18	23.7	22
		21.7 ^{*2}			

*1 採取コア4本または、2本の平均値

*2 静弾性係数試験を実施したもの



新野甫大橋 PC5径間連続変断面箱桁橋
 橋長320m(54.25+3@70+54.25)
 2004年3月開通



塩害対策 1.鋼材のかぶりの十分な確保 2.エポキシ塗装鉄筋の採用
 3.エポキシ塗装PC鋼材の採用 4.ポリエチレンシーシスの採用

コンクリート橋の耐久性設計・施工 塩害対策



伊良部大橋の[設計段階]における塩害対策 ポストテンションPC橋

	設計上の塩害対策
①	塩分の付着面積の小さい箱桁橋を採用し、隅角部を少なくし塩害を受けにくい構造とする
②	最小かぶり厚の確保（道路橋示方書平成14年）
③	塗装鉄筋の採用（道路橋示方書平成14年）
④	ポリエチレンシースの採用（道路橋示方書平成24年解説）
⑤	セグメントPC用ポリエチレンシースカップラーの採用
⑥	塗装PC鋼材の採用（道路橋示方書平成24年解説）
⑦	高耐久性コンクリートの採用
⑧	防錆処理（エポキシ樹脂塗装）定着具の採用
⑨	AlMg溶射処理を施した支承鋼板の採用

伊良部大橋完成イメージパース
沖縄県土木建築部伊良部大橋
建設現場事務所提供



伊良部大橋(平良下地島空港線)

事業概要

事業年度 2001年~20012年度(着工準備H13~H16)

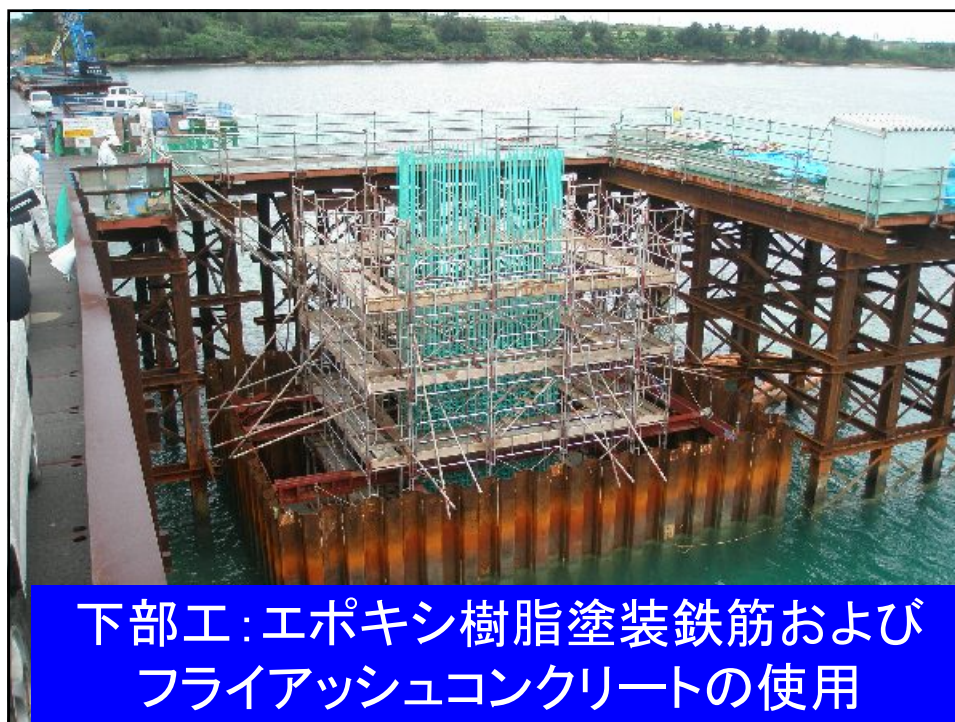
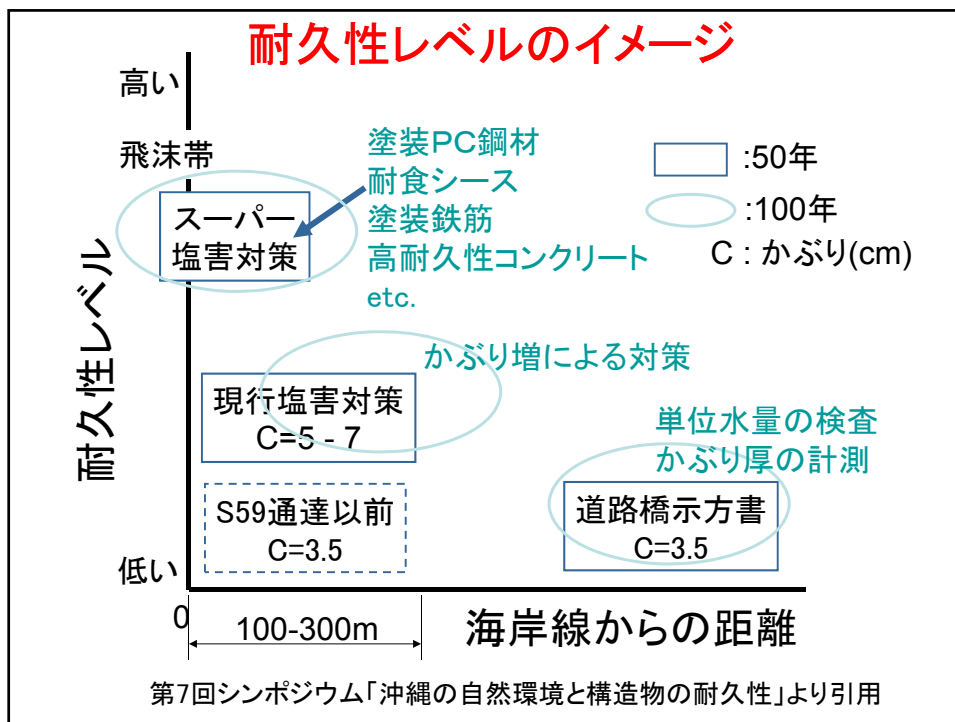
延長 6,500m(橋梁部3,540m、海中道路部670m、取付道路2,290m)

幅員 橋梁部8.5m(車道部3.0m×2、路肩1.25×2m)取付道路部14.5m

総事業費 約320億円

伊良部大橋の塩害対策

長大な海上橋であり、塩害が発生した場合、海上での維持管理が困難であり、また、維持管理費用の増大が懸念されることから、長寿命化・高耐久化(耐用年数100年)を目指した「ミニマムメンテナンス橋」としての塩害対策を講じる。





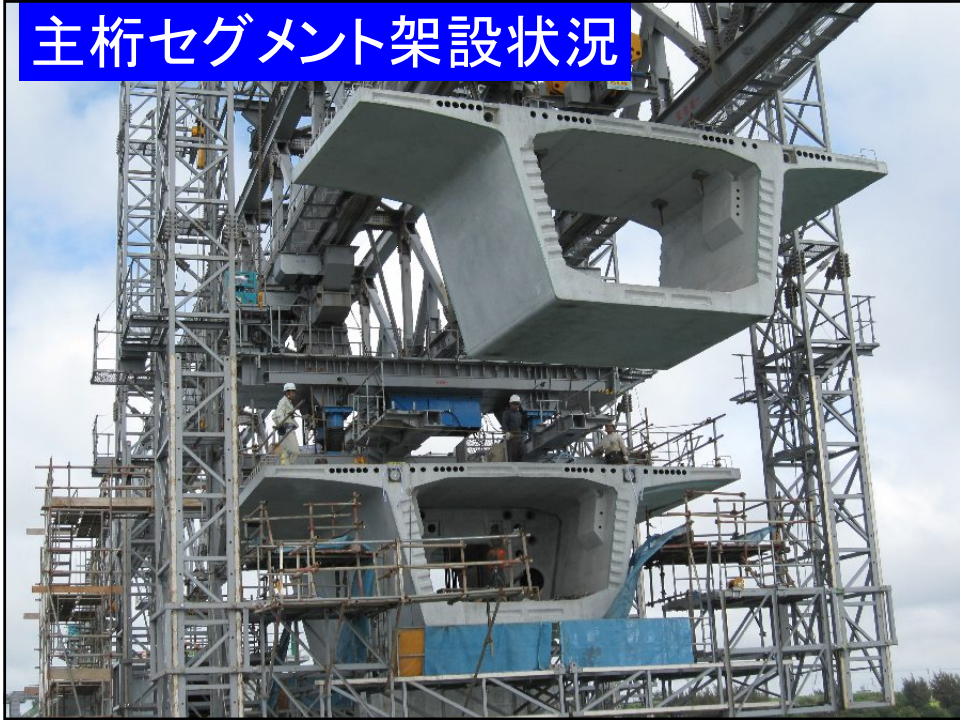
上部工製造現場



エポキシ鉄筋組み立て



主桁セグメント架設状況



主桁セグメント架設状況



ポリエチレン製シース



セグメントカップラー [φ70 - φ80]

●オスメス



●オス



●メス



主桁(箱桁)内部
外ケーブル配置状況



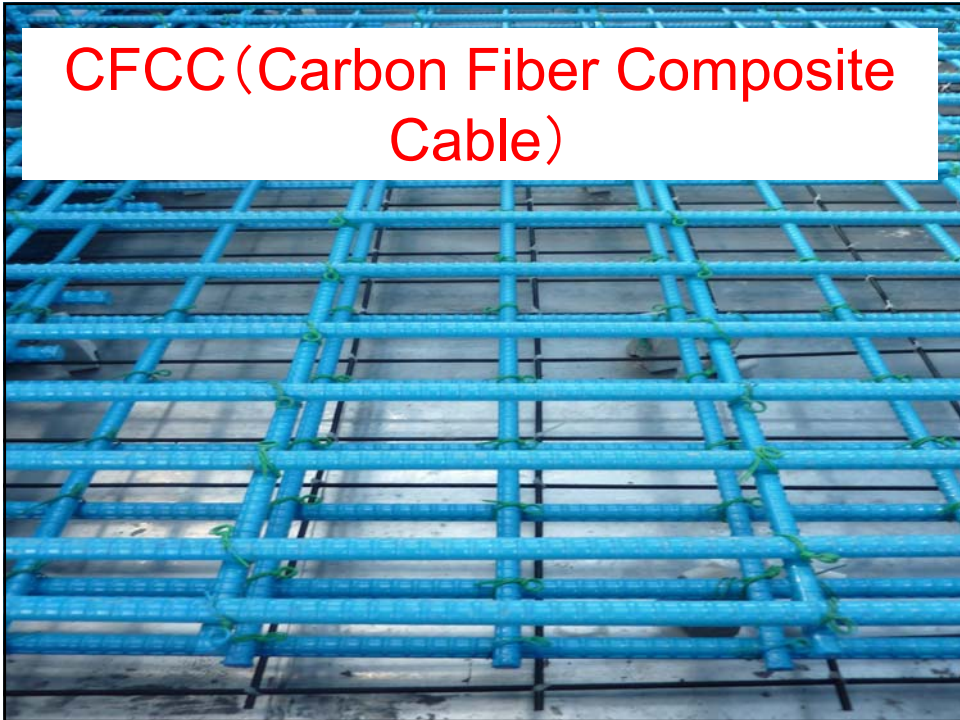
主桁(箱桁)内部
外ケーブル配置状況

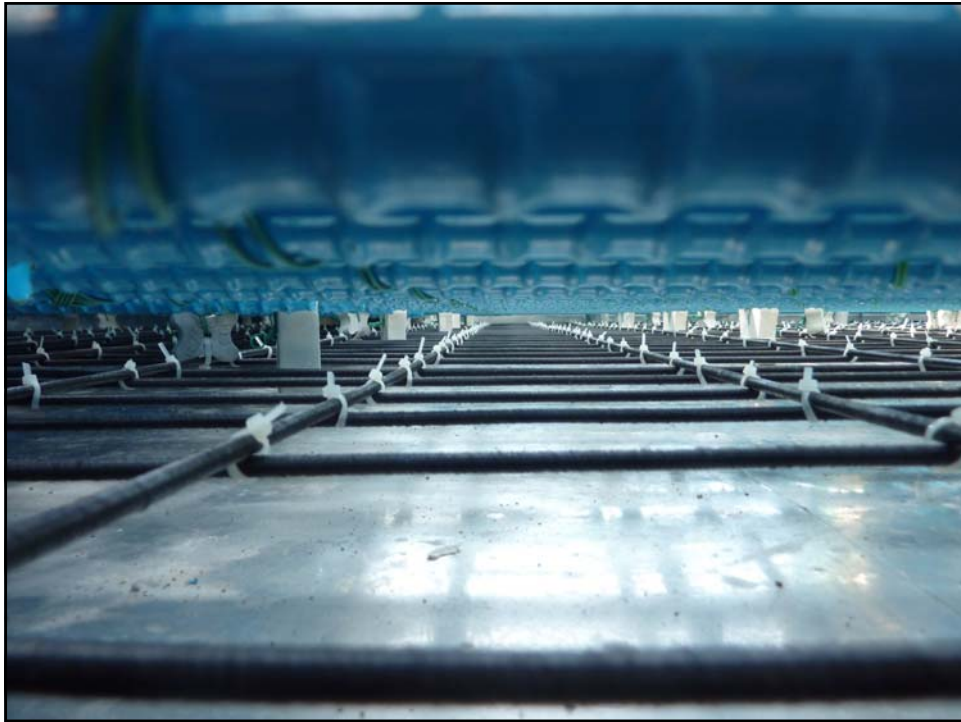


エポキシ樹脂塗装PC鋼材



CFCC (Carbon Fiber Composite Cable)





CFCC (Carbon Fiber Composite Cable) はPAN系炭素繊維と熱硬化樹脂を複合化し“より線状”に成形硬化した構造用補強材



プレテンションPC橋の塩害対策 塗装PC鋼より線(SCストランド)の適用



桁製作状況(SCストランドおよび 塗装鉄筋使用)





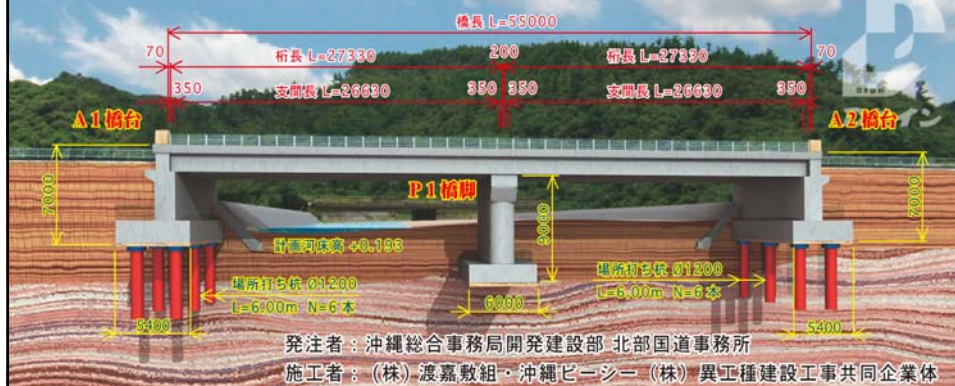
石川橋主桁架設状況



塗装PC鋼より線仕様プレテンションPC橋 佐手橋(施工中 国道58号線)

断面図

現在の老朽化した橋を取壊し、特殊なコンクリート（フライアッシュコンクリート）を使用して、100年耐用の新しい橋に架け替える。









高耐久性プレテンションPC桁の 技術開発に関する試験研究

キーワード:フライアッシュコンクリート、
エポキシ樹脂塗装PC鋼より線、
付着性能、耐荷性能

琉球大学名誉教授 大城武
琉球大学工学部准教授 富山潤
株式会社 技建 宮野伸介



圧縮強度および温度履歴の確認

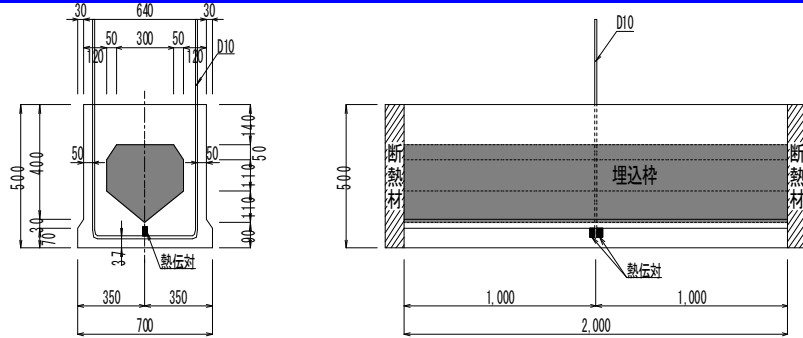


図-1 ブロック試験体(単位:mm)



表—1 コンクリート配合

試験体名	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	水粉体比 W/C+FA (%)	細骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/㎡)					
						水 W	セメント+FA1+FA2 (内割+外割)	細骨材		粗骨材 G	混和剤 A
								S1	S2		
NC	20	12	1.5	32.5	42.7	156	480	231	523	1048	4.80
NFAC ¹	20	12	1.5	30.9	40.0	156	394 + 86 + 25	207	469	1048	4.80
NFAC-1	20	12	1.5	30.9	41.1	156	418 + 62 + 25	215	492	1048	4.80
HFA	20	12	1.5	30.9	40.0	156	394 + 86 + 25	207	469	1048	4.80

※ NFACは、PC試験桁に使用。

試験体名と蒸気養生条件

試験体名	コンクリートタイプ	蒸気養生温度(T°C)	保持時間(h)
NC-1	普通コンクリート	50	6
NC-2		65	6
NFAC-1	フライアッシュコンクリート	65	6
HFAC		50	6



簡易断熱養生のモールド供試体

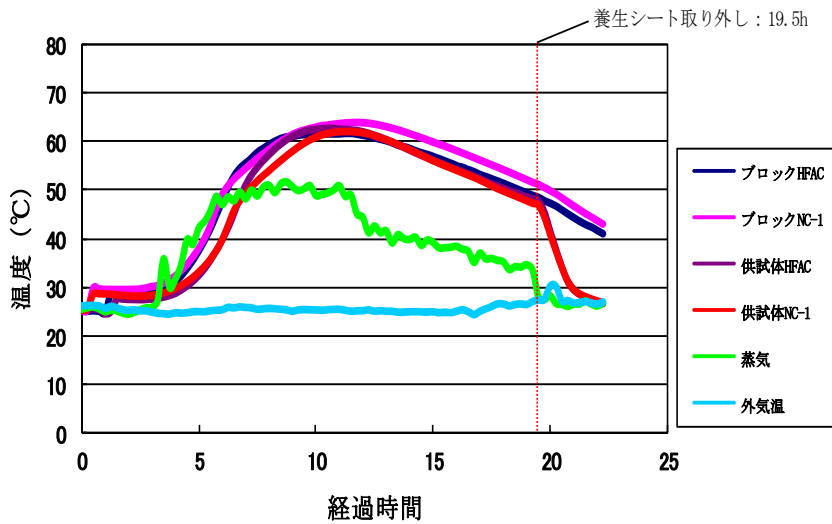
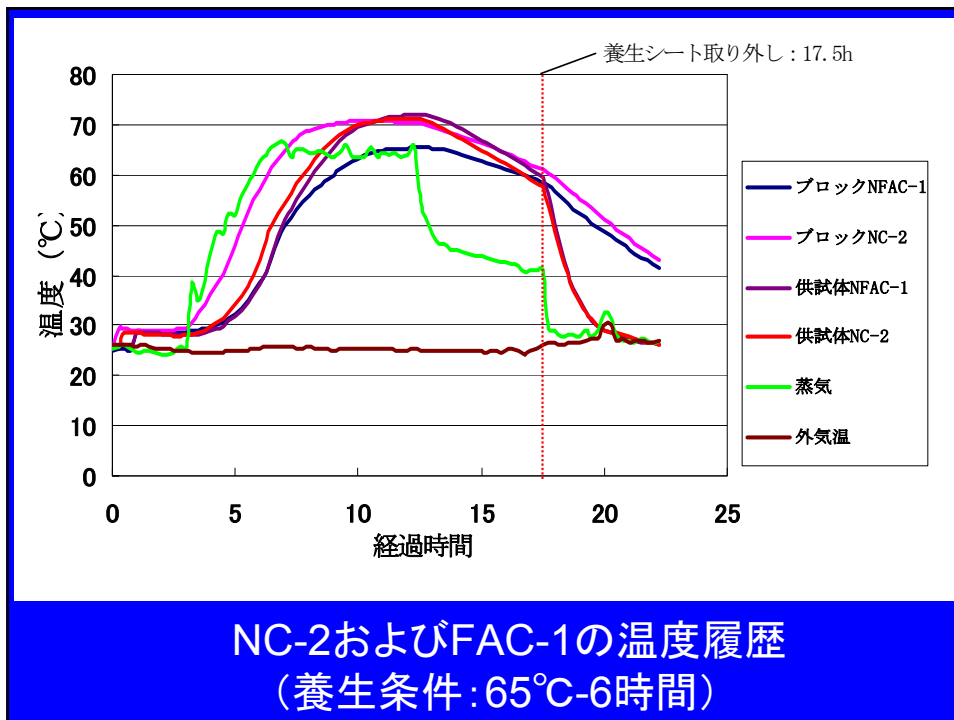


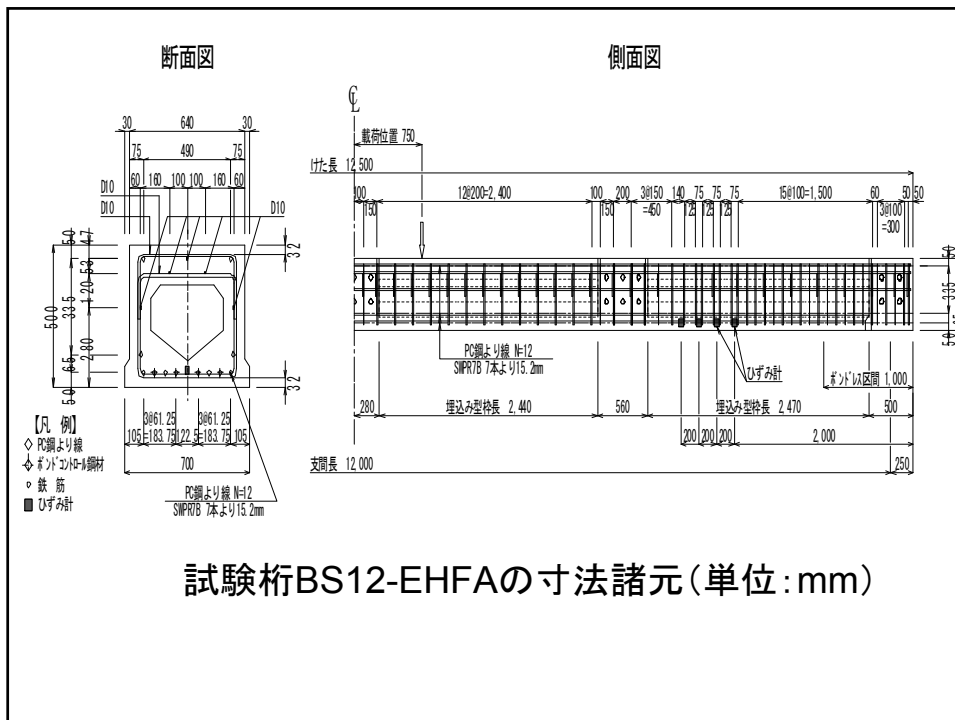
図-2 NC-1およびHFACの温度履歴
(養生条件: 50°C-6時間)



プレストレス導入時の圧縮強度およびヤング係数

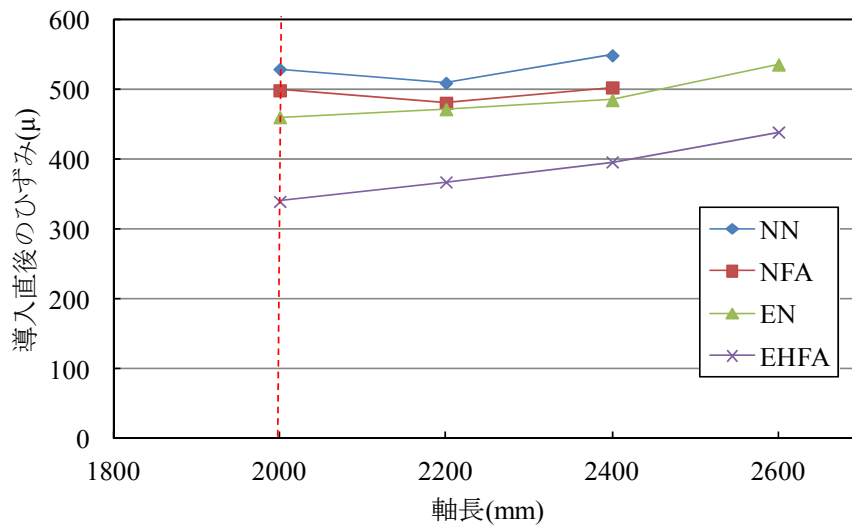
試験体名	養生時間							
	18時間		20時間		20日(曲げ試験前日)		25日(曲げ試験前日)	
	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)
NC-1			38.9	3	51	3.5		
NC-2	40.4	3.1					51.8	3.3
NC(気中)	31.7	2.6					51.1	3.5
NFAC-1 (NFAC)	37.5 (32.7)	2.9 (2.8)					(50.1)	(3.5)
NFAC-1(気中)	24.5	2.4					50.9	3.6
HFAC			41	3.2	55.6	3.6		
HFAC(気中)	37.8	3					56	3.6

※NFACはFA18%内割配合,後述のPC桁の供試体

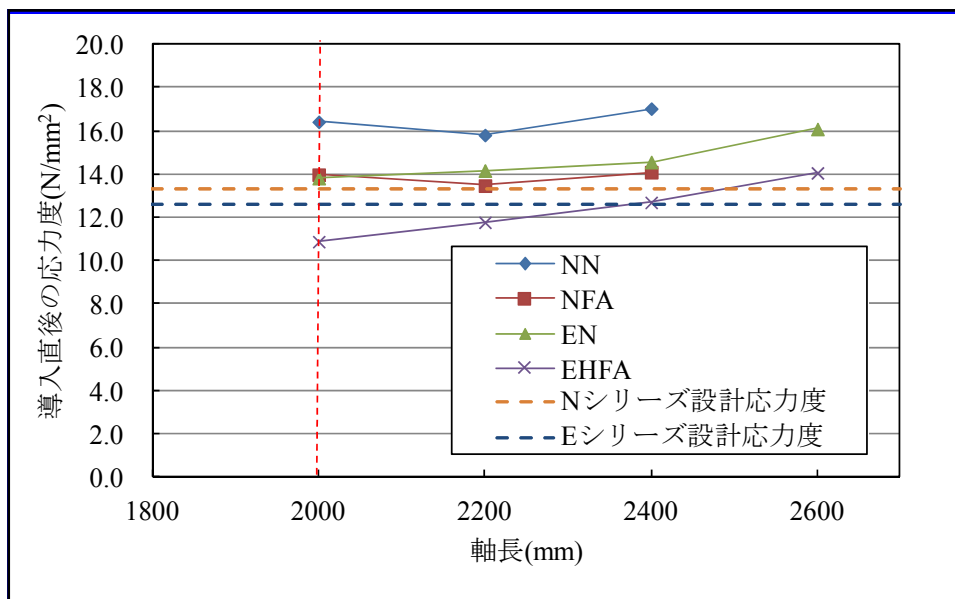




- 写真—1 埋め込み型ひずみ計
- (標点距離100mm)



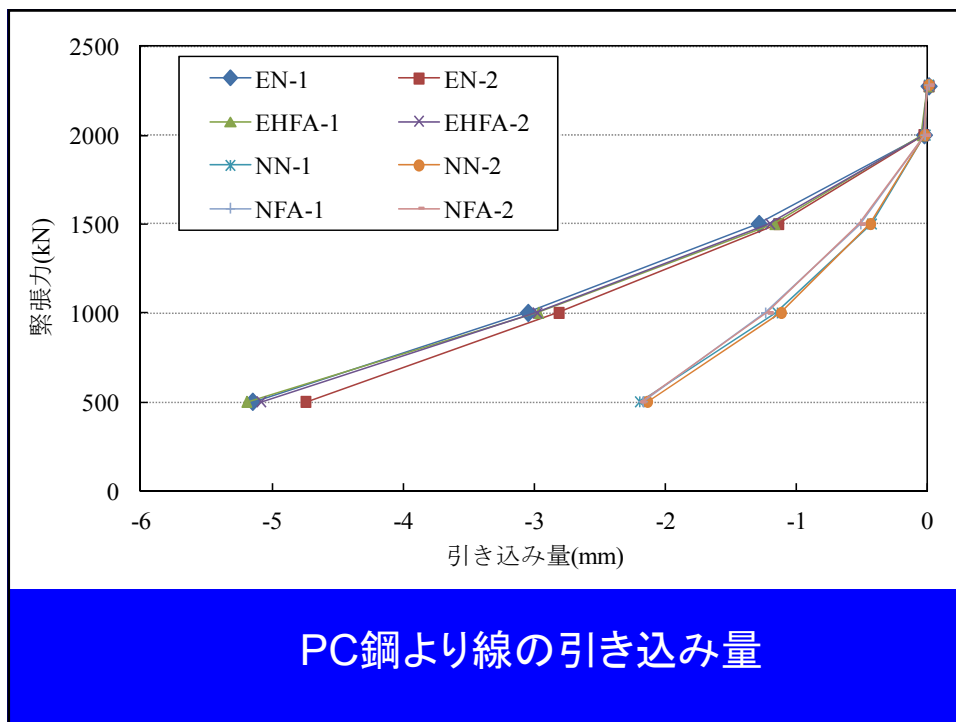
導入ひずみと軸長の関係



導入応力度と軸長の関係



引き込み量測定





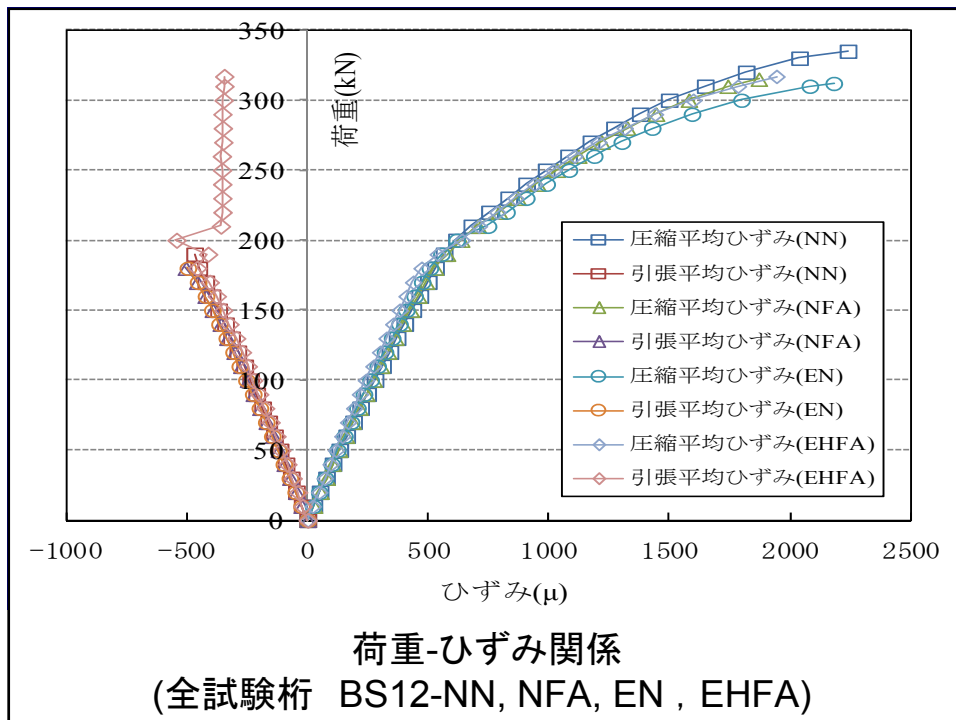
曲げ破壊試験

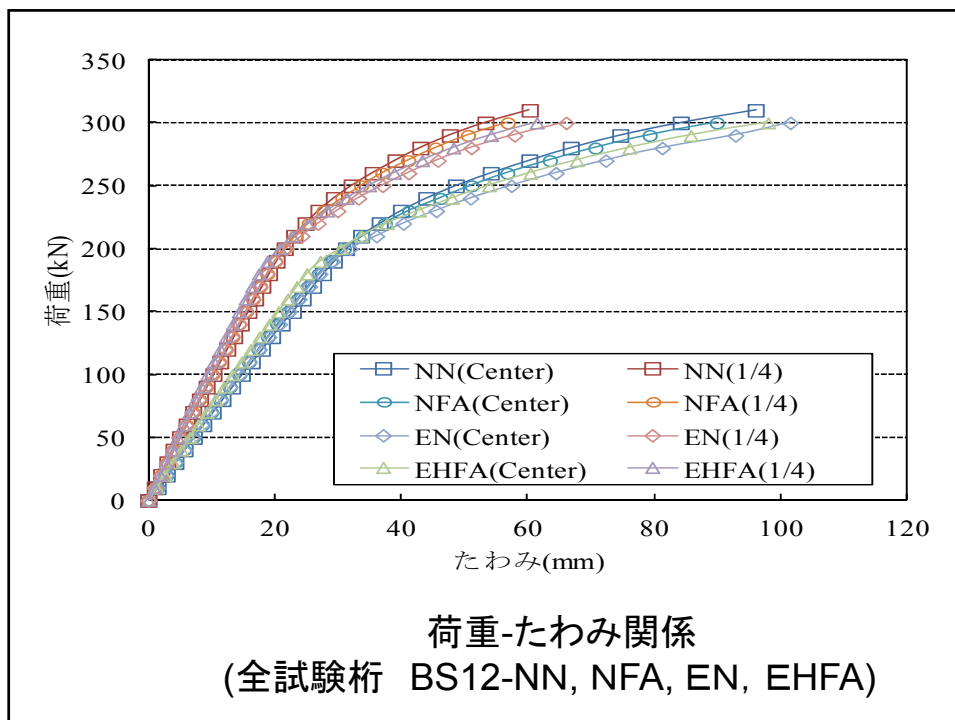


曲げ破壊試験 圧壊状況

耐荷力試験結果

試験桁	ひび割れ荷重		破壊荷重	
	設計値(KN)	測定値(KN)	設計値(KN)	測定値(KN)
BS12-NN	137	190	310	321
BS12-NFA	137	185	310	321
BS12-EN	124	185	310	315
BS12-EHFA	124	184	310	318





試験のまとめ(1)

- FAコンクリートは、蒸気養生条件および配合を適切に設定することでコンクリート温度の上昇を抑制し、また、所定の初期強度を確保できる。

試験のまとめ(2)

- 伝達長の位置(φ65)において、NN線仕様、EN仕様およびNFA仕様のプレテンションPC桁は、設計値以上のプレストレス導入応力度を確保。
- EHFA仕様では、FAコンクリートおよびE仕様の付着性能の低下の影響が表われ、NN線仕様より低い導入応力度を表わす。しかし、プレストレス導入直後および全死荷重作用時と設計荷重作用時に要求される応力度を満足する。
- 全試験桁とも曲げ耐力に関しては安全側の評価が出来る。

試験のまとめ(3)

曲げ破壊試験の結果、4試験桁の実測ひび割れ荷重および実測破壊荷重は、各試験桁とも所定の設計荷重を超えている。また、4試験桁とも同様の荷重—たわみ関係および荷重—ひずみ関係を表わしている。したがって、全試験桁は同等の曲げ性能を有している。

まとめ

コンクリート橋の塩害に関して耐久性を配慮した事例を説明したが、これらの技術の確認には長期間を要する。しかし、過去の経験から、遮塩性の高いコンクリートでのかぶりの確保および塗装鋼材の使用で耐久性は確実に向上する。

構造物の設計に際しては、必要に応じて許容値および設計値を採用しているが、これらは長寿命を確定的に保証するものではない。環境条件、構造物の種類および重要度に配慮して設計・施工は行われるものである。そのため、十分な評価能力が技術者には要求される。

今後とも新しい材料および工法を経験し、耐久性向上の技術を展開していくべきである。