

平成19年度（財）港湾空港建設技術サービス センター研究開発助成報告書

助成番号：平成20年 1月 29日付 第 07— 1号

研究開発項目：（番号） ⑧ に関するもの

防食性能および耐震性能を付与した 表面保護工の水中施工法の開発

平成21年4月30日

名古屋大学

国枝 稔

目 次

1. はじめに	1
2. 塩化物イオンの拡散に関する基礎データの収集	3
2.1 目的	3
2.2 実験概要	3
2.3 実験結果	4
2.4 まとめ	10
3. 被覆された鋼管の補強効果の確認と既設部材との一体性の確保	11
3.1 目的	11
3.2 実験概要	11
3.3 実験結果	13
3.4 まとめ	19
4. 実大試験体による UHP-SHCC 充填性状の確認	20
4.1 目的	20
4.2 工法の概要および施工の流れ	20
4.3 施工性試験	22
4.4 まとめ	26
5. まとめ	27

謝辞

1 章 はじめに

コンクリートおよび鋼構造物に代表される港湾構造物では、塩害による劣化が顕在化しており、様々な補修・補強工法が開発、提案されている。極めて厳しい環境であることから、防食のための材料が高価となったり、当初の予想よりはるかに短い期間で再劣化するなど、さらなる高耐久化も望まれている。さらに、将来起こりうる地震に対する補強や、近年問題視されている津波による被災（コンテナなどの浮遊物が構造物に衝突するなど）に対しての補強も懸念されているのが現状である。申請者は、SCOPE 平成18年度研究開発助成金（震災復旧時のコスト削減を可能とするセメント系補強材の開発）において、緻密で耐震補強も兼ねたセメント系補強材（超高強度ひずみ硬化型セメント系材料、以下 UHP-SHCC とよぶ、図-1.1、1.2 参照）を開発し、陸上にある構造物を想定し、吹きつけ工法の提案、補強効果の確認を行った。本研究開発は、昨年度陸上構造物で実施した補修、補強工法を参考に、港湾構造物を対象とした水中施工法を開発するものである。

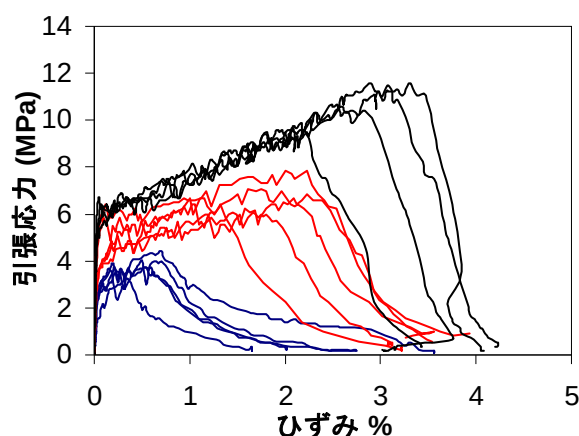


図-1.1 超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料の応力-ひずみ曲線の例

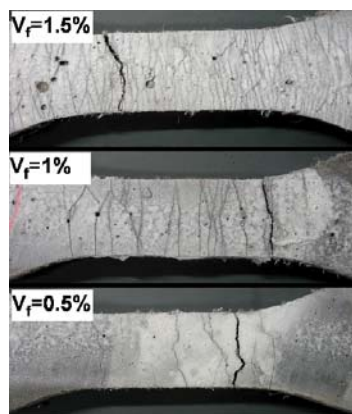


図-1.2 超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料のひび割れ性状の例

以下、本報告書の内容を概説する。

2 章では、UHP-SHCC の海水中あるいは飛沫帯などに設置される港湾構造物の塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を定量的に把握するため、塩化物イオンの拡散係数を把握する実験を行った。

3 章では、本研究開発で対象としている UHP-SHCC は、単なる部材の保護（カバー）でなく、補強材としての効果も期待している。従って、既設部材との一体性を確保する方法の確立が不可欠である。ここでは、同じく水中でも施工可能なジベルの配置（位置および量）について、部材の曲げ試験等をもとに検討する。なお、水中で材料が移動した場合の塩化物イオンの巻き込み事例を示すとともに、塩化物イオンが UHP-SHCC 内に混入した場合を想定した複合部材も作製し、腐食状況の観察および力学性能を確認した。

4 章では、軽量の布製型枠を用いて型枠設置作業を簡略化し、UHP-SHCC の使用により杭変形に対するライニングモルタルの追従性向上、耐衝撃性向上、有害因子（塩化物イオンなど）の浸入抑制などを期待した円形部材（鋼管杭や円柱橋脚など）のモルタルライニング工法を考案した。飛沫帯、干満帯の栈橋鋼管杭の防食を対象に、最適な UHP-SHCC の配合を検討し、 $\phi 800\text{mm}$ の鋼管杭に実際にライニングしたときの UHP-SHCC の品質及びライニング厚さ等の出来映えについて調査した。

5 章では、本研究開発で得られた知見をまとめた。

2 章 塩化物イオンの拡散に関する基礎データの収集

2.1 目的

海水中あるいは飛沫帯などに設置される港湾構造物の塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を定量的に把握するため、塩化物イオンの拡散係数を把握する実験を行う。具体的には、NaCl 溶液中に UHP-SHCC を浸漬し、みかけの拡散係数を算定する。塩化物イオンの拡散係数は、現在のセメント系材料の耐久性設計の基本となる情報であり、材料の比較のための物性値としても利用されるだけでなく、部材の設計耐用年数の算定および補修厚さを設定する際にも必要となる。

2.2 実験概要

2.2.1 使用材料および供試体概要

本試験では繊維を供試体体積の 1.50%混入した UHP-SHCC および比較のために水セメント比 0.57 の普通コンクリートを用いた。各材料の配合は表-2.1、表-2.2 に示すとおりである。また、表-2.1 には JIS A 1128 により測定した空気量も併せて示した。セメントには低熱ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm^3)を使用し、セメント質量の 15%をシリカフューム(密度 2.2g/cm^3)で置換した。細骨材は 7 号硅砂(密度 2.68g/cm^3)を結合材の 10%混入した。混和剤には高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)と消泡剤を使用した。繊維には高強度ポリエチレン(直径 $12\mu\text{m}$ 、長さ 6mm)を用いた。また、膨張材(エトリンガイト・石灰複合系)を 1m^3 あたり 20kg 混入した。

表-2.1 UHP-SHCC の配合

Vf(%)	W/B	S/B	単位量(kg/m^3)								空気量 (%)
			水	セメント	シリカ フューム	細骨材	混和剤	消泡剤	膨張材	繊維	
1.50	0.22	0.1	314.4	1239.6	222.3	148.2	4.4	0.65	20.0	14.6	4.1

表-2.2 コンクリートの配合

W/C	s/a	$G_{\text{max}}(\text{mm})$	単位量(kg/m^3)				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
0.57	49.4	15	176	314	860	882	1.5

UHP-SHCC は 40×40×160mm、普通コンクリートは 100×100×400mm の供試体を作製した。

2.2.2 試験方法

供試体の浸漬方法は、

- ① 打設の翌日に脱型し、直後に 10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬
- ② 打設の翌日に脱型し、28 日間水中養生した後、10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬

の 2 種類で、どちらの浸漬方法も塩化ナトリウム水溶液に浸漬後、28 日、56 日、84 日での供試体への塩化物イオン侵入状況を確認した。前者は、水中施工法の開発にあたり、打設後、海水中で養生した際の内部への塩化物イオンの移動性状について確認するためである。図-2.1 に浸漬試験のフローチャートを示す。侵入状況は、乾式のコンクリートカッターで切り出した断面に硝酸銀水溶液を吹きかけることにより判断した。硝酸銀水溶液を吹きかけることで塩化物イオンが侵入している箇所では式(2.1)、侵入していない箇所では式(2.2)であらわされる化学反応が起こり変色する。図-2.2 に示すように、断面を 4 等分し境界位置である三箇所では侵入深さを測り平均値を求めた。なお、普通コンクリートの浸漬方法は②のみ行い、浸漬後 28 日の侵入状況を確認した。また、UHP-SHCC の浸漬方法①の浸漬期間 56 日、84 日、浸漬方法②の浸漬期間 28 日、56 日、普通コンクリートの供試体については、断面を EPMA 分析し断面の濃度分布についても確認した。

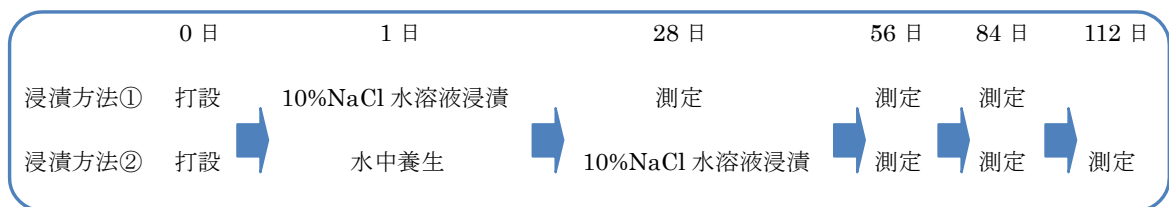


図-2.1 浸漬方法

2.3 実験結果

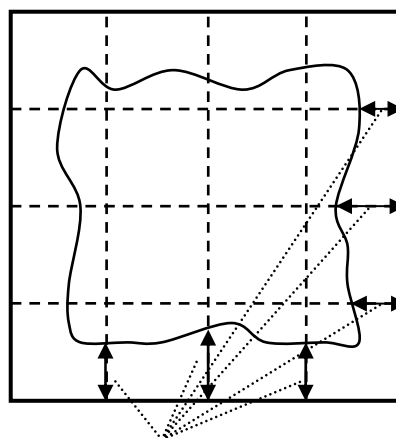
各養生条件の UHP-SHCC について、硝酸銀の吹きかけによる断面の塩化物イオンの侵入状況を図-2.3 に、平均侵入深さを表-2.3 に示す。脱型後直ちに 10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた浸漬方法①では、浸漬後 28 日において、平均して 9.9mm

程度侵入しており，浸漬期間が短いにも関わらずその他のケースに比べて最も侵入している．これは，低水結合材比の UHP-SHCC では，セメントの水和に必要な水を外部から吸水した際に，塩化物イオンも内部に引き込んでしまったものと推察される．従って，セメントの水和が十分に進行した浸漬後 56 日以降では，侵入深さは大きく変化していない．

一方，28 日間水中養生を行った後 10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた浸漬方法②では，浸漬後 28 日で平均して 2.2mm 程度侵入した．

その後，56 日，84 日と浸漬期間が増えても，大きな変化は認められない．これは，UHP-SHCC 中のセメントが十分に水和すれば，極めて高い物質移動抵抗性を有していることを示している．

同じ浸漬方法，期間(浸漬方法②，浸漬期間 28 日)である普通コンクリートと UHP-SHCC を比較すると，普通コンクリートは平均して 15.7mm 侵入しており UHP-SHCC の約 7 倍であった．

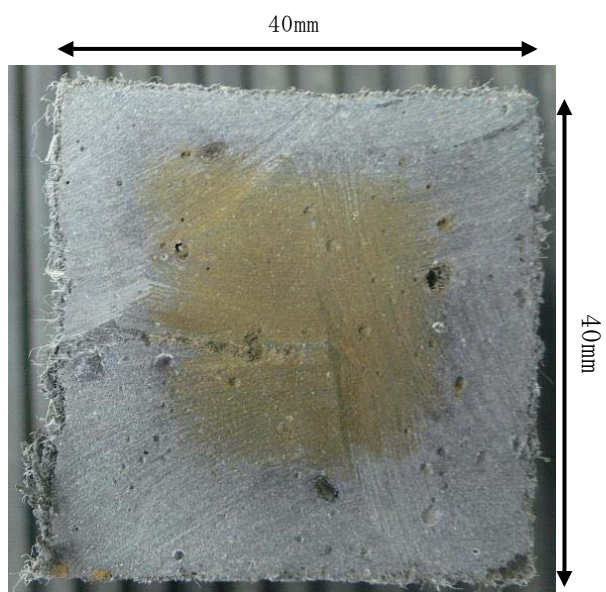


侵入深さを測定した箇所

図-2.2 侵入深さ測定箇所模式図

表-2.3 硝酸銀吹きかけによる平均侵入深さ

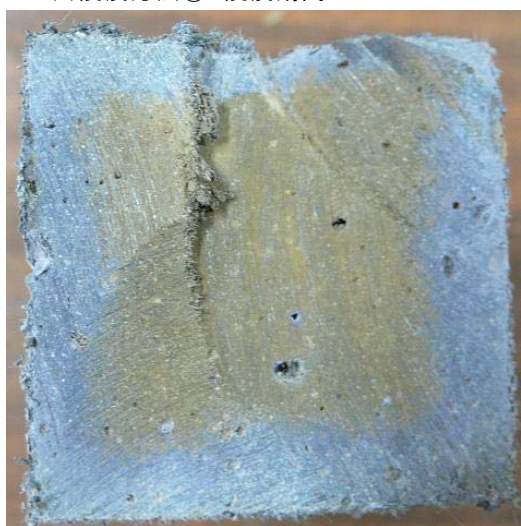
	浸漬方法	浸漬期間	平均侵入深さ(mm)
UHP-SHCC	①	28 日	9.9
		56 日	8.5
		84 日	9.2
	②	28 日	2.2
		56 日	2.6
		84 日	2.9
普通コンクリート	②	28 日	15.7



(a)浸漬方法① 浸漬期間 28 日



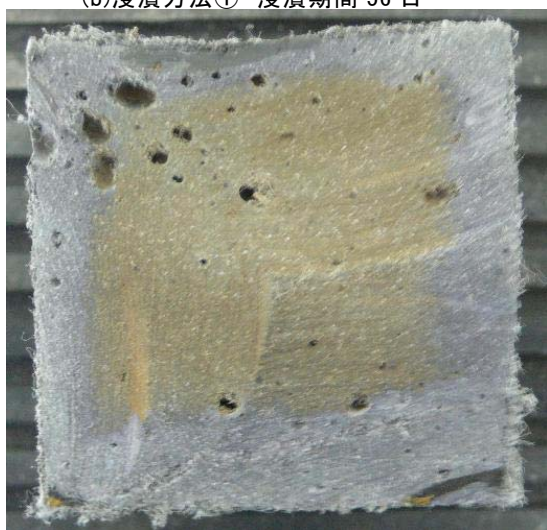
(d)浸漬方法② 浸漬期間 28 日



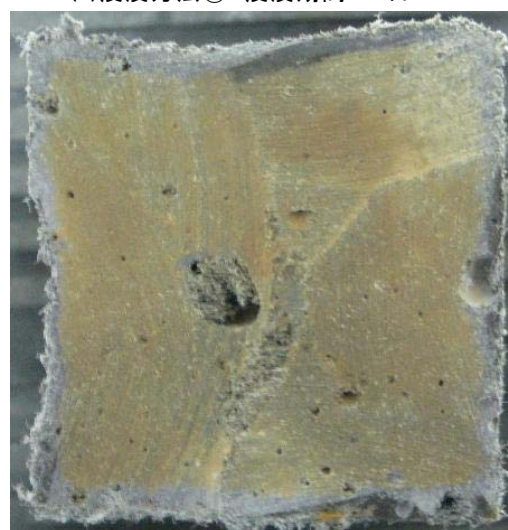
(b)浸漬方法① 浸漬期間 56 日



(e)浸漬方法② 浸漬期間 56 日



(c)浸漬方法① 浸漬期間 84 日



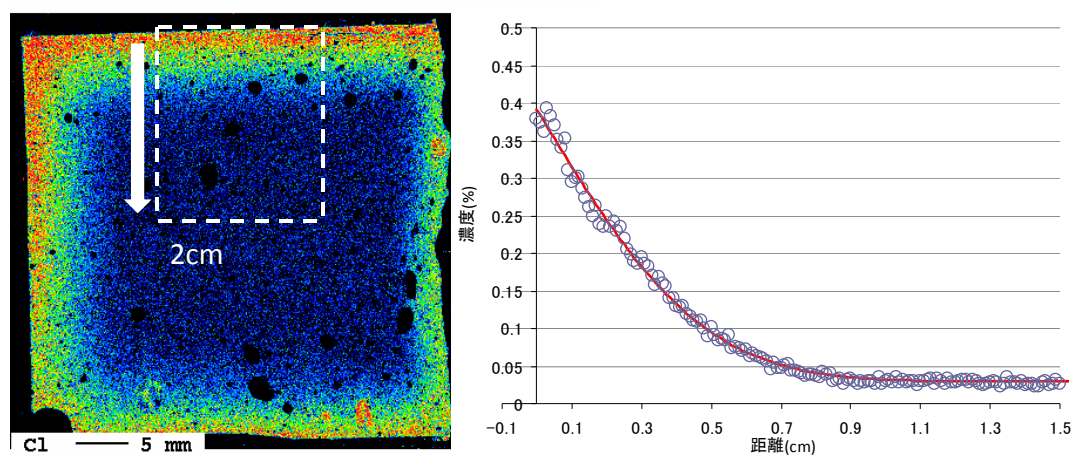
(f)浸漬方法② 浸漬期間 84 日

備考 浸漬方法:水中養生無し

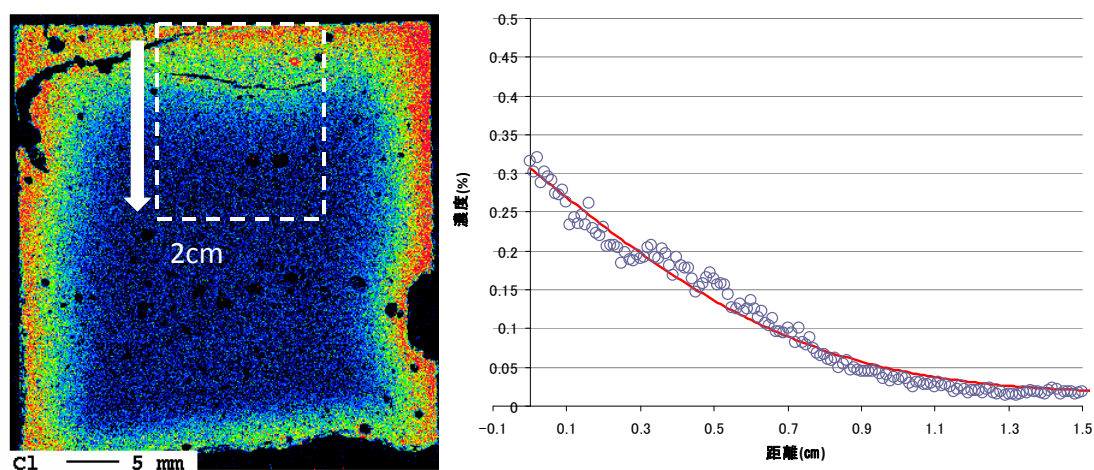
浸漬方法:28 日間水中

図-2.3 塩化物イオンの侵入状況の確認(UHP-SHCC)

EPMA による面分析を実施した際の塩化物イオンの濃度分布および表面からの平均濃度分布を図-2.4~2.6 に示す。浸漬方法①では、先述のとおり、約 8~10mm 程度の塩化物イオンの侵入が確認される。浸漬期間の増加に伴って、表面の濃度は高くなるが、内部への侵入は顕著ではなかった。一方、浸漬方法②では、表面の極近傍に塩化物イオンが確認できるだけであり、かつ浸漬 28 日から 58 日にかけて、侵入深さ、濃度分布ともに大きな変化は確認できなかった。

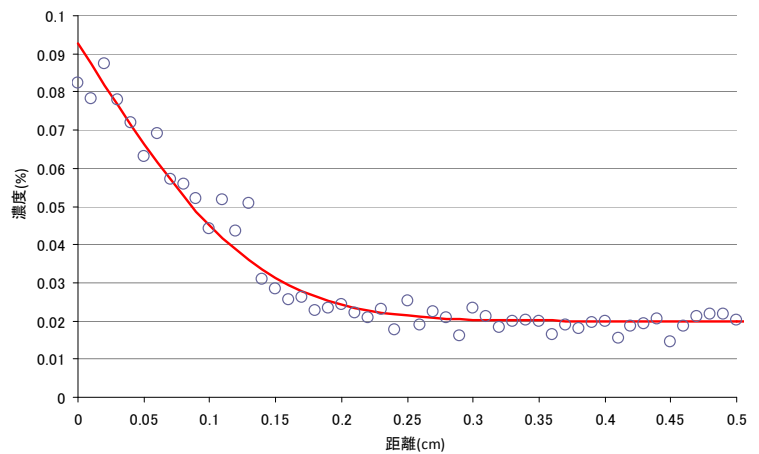
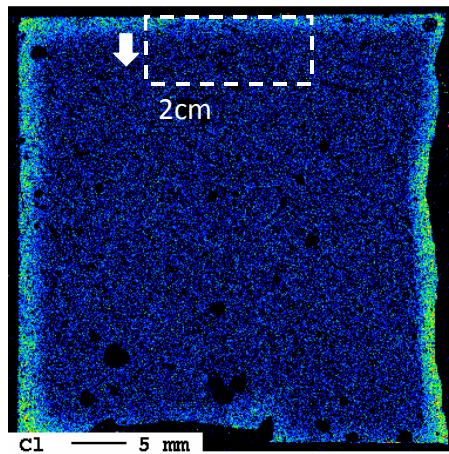


(a) 浸漬方法① 浸漬期間 56 日

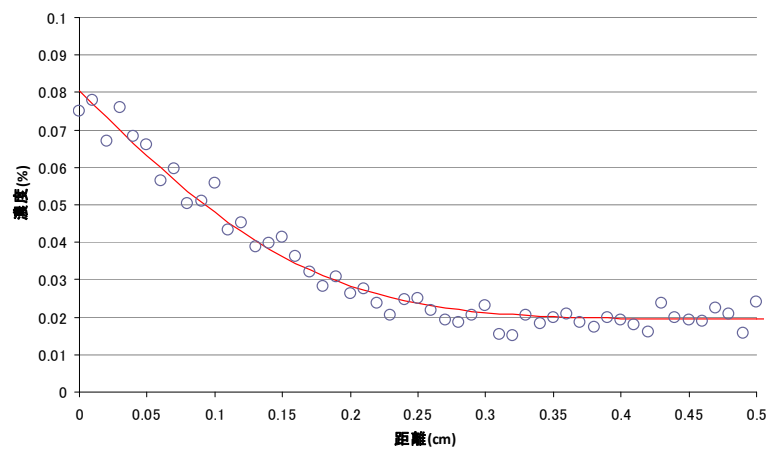
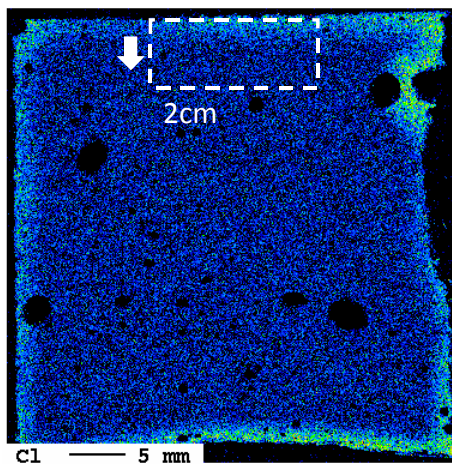


(b) 浸漬方法① 浸漬期間 84 日

図-2.4 EPMA による塩化物イオン濃度分布 (UHP-SHCC)



(a) 浸漬方法② 浸漬期間 28 日



(b) 浸漬方法② 浸漬期間 56 日

図-2.5 EPMA による塩化物イオン濃度分布 (UHP-SHCC)

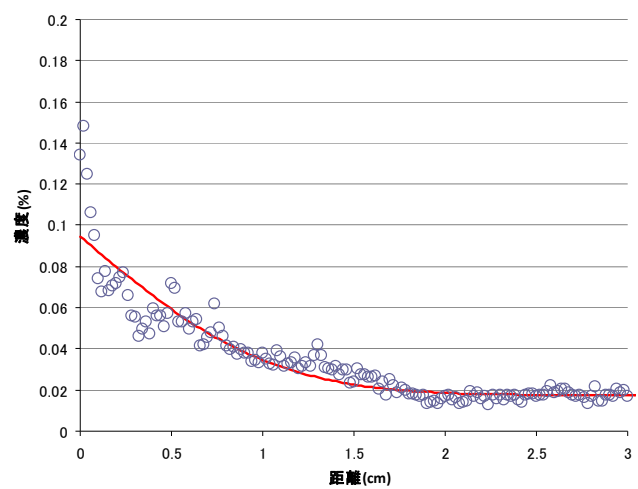
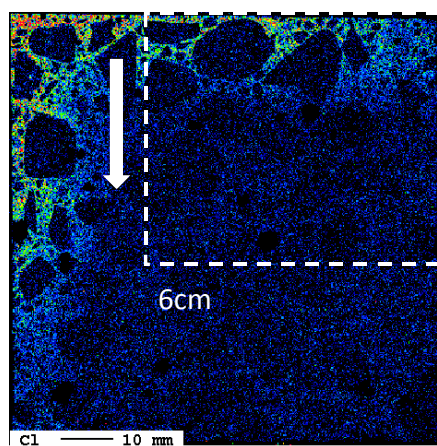


図-2.6 EPMA による塩化物イオン濃度分布
(コンクリート, 浸漬方法② 浸漬期間 28 日)

表－2.4 に EPMA により確認された塩化物イオンの侵入深さおよび算定されたみかけの拡散係数を示す．塩化物イオンの侵入深さに関しては，表－2.3 に示された硝酸銀による方法から求められた結果と類似していた．また，コンクリートの拡散係数が， $4.0 \text{ cm}^2/\text{年}$ であったのに対し，UHP-SHCC の拡散係数は $0.04 \sim 0.08 \text{ cm}^2/\text{年}$ の範囲にあり， $1/50$ 程度と極めて小さい結果となった．このことは，UHP-SHCC の物質移動に対する抵抗性が高いことを示している．

表－2.4 EPMA による平均侵入深さ

種別	浸漬方法	浸漬期間	平均侵入深さ(mm)	拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)
UHP-SHCC	①	56 日	8	0.04
		84 日	12	0.08
	②	28 日	2	0.07
		56 日	3	0.06
普通コンクリート	②	28 日	20	4.0

2.4 まとめ

本章では UHP-SHCC の塩化物イオンの移動に対する抵抗性を把握するために、塩化ナトリウム水溶液浸漬試験を行い、塩化物イオンの侵入深さや濃度分布を求めた。

脱型後直ちに 10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬すると、浸漬期間 28 日で平均して 9.9mm 侵入したのに対し、28 日間の水中養生を行った後、10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬すると、浸漬期間 28 日で平均して 2.2mm 程度を大幅に小さくなった。浸漬期間が 28 日以降であれば、いずれの浸漬方法においても、その後の変化は小さかった。

28 日間水中養生を行った後 10%塩化ナトリウム水溶液に 28 日浸漬させた普通コンクリートの浸漬深さと比較すると、同一条件の UHP-SHCC の侵入深さは 1/7 程度であった。このことは、EPMA による面分析の結果から算定された拡散係数の値からも確認された。

以上より、UHP-SHCC は普通コンクリートに比べて塩化物イオンの移動に対する高い抵抗性を持つことがわかった。

3 章 被覆された鋼管の補強効果の確認と既設部材との一体性の確保

3.1 目的

UHP-SHCC には，単なる部材の保護（カバー）でなく，補強材として効果も期待している．従って，既設部材との一体性を確保する方法の確立が不可欠である．ここでは，水中でも施工可能な簡便な方法として鉄筋を部材軸方向に溶接する方法を提案し，一体性確保の効果について，複合部材の曲げ試験等をもとに検討する．なお，図－3.1 に示すように，打設時に海水中で材料が移動すると，内部に塩化物イオンが侵入する可能性があり，また海水中で養生が行われると，内部に塩化物イオンが侵入することが前章の実験で明らかとなっている．よって，予め塩化物イオンを練混ぜ時に混入し，作製した複合部材についても検討を行った．



10cm×10cm×40cm の型枠を NaCl 溶液に浸漬させ，その後溶液中で UHP-SHCC を打設した．（白色部が侵入部，写真上面が打設面）

図－3.1 NaCl 溶液中で打設，硬化させた UHP-SHCC

3.2 実験概要

3.2.1 使用材料

表－3.1 に示すように，W/B=0.22，繊維量 1.25% の UHP-SHCC を鋼管の被覆材として使用した．セメントには低熱ポルトランドセメント（密度 3.14g/cm³）を使用し，セメント質量の 15% をシリカフューム（密度 2.2g/cm³）で置換した．細骨材は 7 号硅砂（密度 2.68g/cm³）を結合材の 30% 混入した．混和剤には高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）と消泡剤を使用した．また，Case2 では，UHP-SHCC 中に塩化物イオンが侵入した状態を模擬して，20kg/m³ の NaCl を練混ぜ時に混入した．

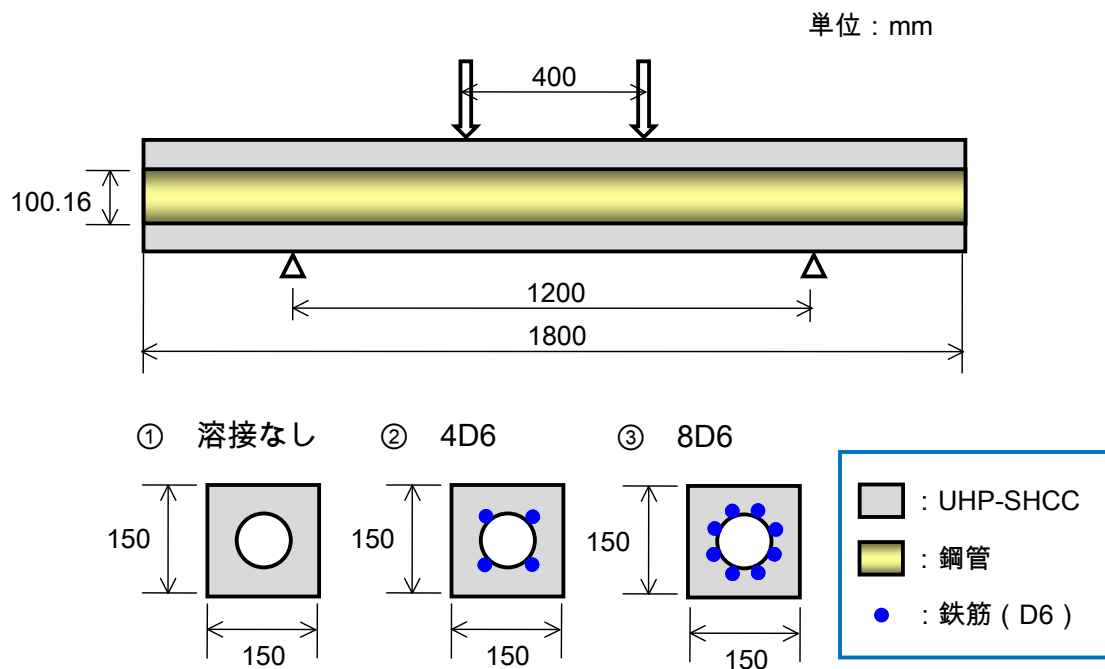
表－3.1 UHP-SHCC の配合

分類	単位量 (kg/m³)								
	水	セメント	シリカフューム	細骨材	混和剤	消泡剤	膨張材	繊維	NaCl
Case1	289	1157	208	416	13.9	3.0472	20.0	12.1	－
Case2	286	1146	206	411	13.7	3.0171	20.0	12.1	20.0

3.2.2 作製した供試体

図－3.2 に示すように、長さ 1800mm の JIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管（直径 101.6mm，肉厚 3.2mm）を内寸 150mm×150mm の型枠内に設置し、先述の UHP-SHCC を型枠内に充填した。なお、鋼管と UHP-SHCC との付着を確保するために、鋼管軸方向に異形鉄筋（D6）を 4 本および 8 本、約 300mm ピッチで鋼管に点溶接した。また、はり中央部の鋼管の上面と下面にひずみゲージを貼付した。UHP-SHCC を打設後、翌日に脱型し、20℃の恒温室内にて湿布養生し、材齢 14 日で載荷試験を行った。また、塩化物イオンが鋼管の腐食に与える影響を調べるため、塩化物イオンを多量に含む Case2 の配合を用いて複合部材を作製し、120 日間、恒温室内にて湿布養生を行い、載荷試験を実施した。

強度試験用供試体は、圧縮強度試験に用いる $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体および、引張試験に用いる試験断面が $30 \times 13\text{mm}$ のダンベル型供試体をそれぞれ 3 本ずつ作製した。



図－3.2 作製した供試体形状と付着確保のための D6 鉄筋の配置

3.2.3 はりの載荷試験方法

図－3.2 にはりの載荷試験方法を示す．載荷スパンを 1200mm とし，三等分点載荷とした．荷重をロードセル（容量 300kN，精度 0.1kN），および載荷点変位を変位計（精度 1/250mm）にて計測した．複合部材の中央部上縁に，ひずみゲージを貼付した．

3.3 実験結果

3.3.1 強度試験

表－3.2 に試験に用いた UHP-SHCC の圧縮強度，引張強度，引張強度時のひずみを示す．材齢 14 日の圧縮強度は 74MPa であったが，その後セメントの水和およびポズラン反応により，材齢 120 日では 124MPa まで増加した．同様に，引張強度も材齢の増加に伴って強度が高くなっているが，一方で引張強度時のひずみは材齢の増加とともに小さくなっている．図－3.3 に，各材齢での引張応力－ひずみ関係を示す．材齢 14 日の結果の方が材齢 120 日の結果に比べてばらつきがやや大きい結果となった．

表－3.2 強度試験結果

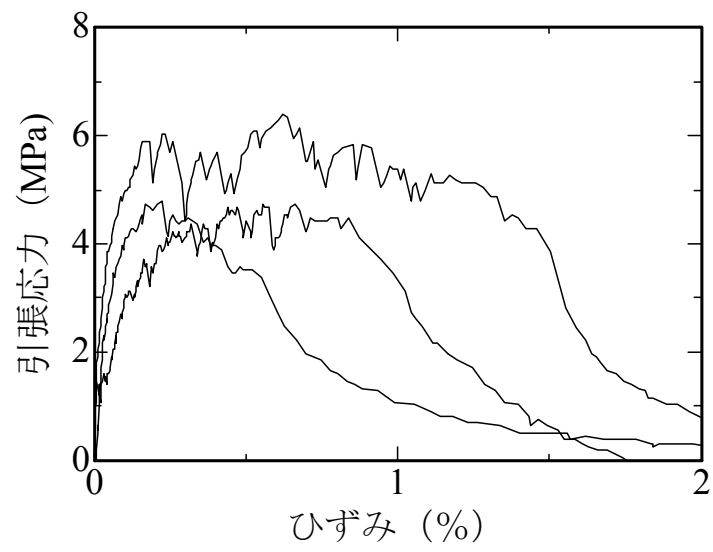
	材齢(日)	圧縮強度(MPa)	引張強度(MPa)	引張強度時のひずみ(%)
Case1	14	74.0	5.3	0.47
Case2	120	124	6.6	0.27

3.3.2 複合部材の載荷試験

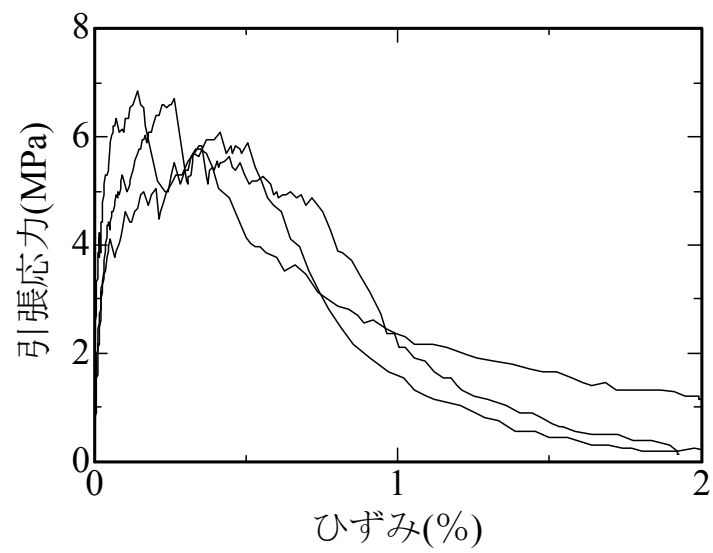
図－3.4 に，各材齢での複合部材の曲げ載荷試験により得られた荷重－変位関係を示す．なお，比較のために鋼管のみの載荷試験結果も示す．試験は，圧縮側の UHP-SHCC が圧縮破壊し，荷重が低下し始めた時点で終了した．

UHP-SHCC で被覆したのみの場合（鉄筋がない場合）でも，鋼管のみに比べて剛性が向上し，最大荷重も大きくなった．また，鉄筋を溶接した場合の方が，鉄筋のない場合に比べて荷重が大きくなり，約 150kN 程度まで増加した．また，材齢の違いに着目すると，材齢の増加に伴って，やや最大荷重が大きくなるものの，終局変位（荷重が低下し始める変位）が小さくなった．これは，材齢の増加とともに，UHP-SHCC の圧縮靱性が低下したためと推察される．

図－3.5 に各複合部材のひび割れ性状を示す．鉄筋（D6）のない複合部材のひび割れは，約 150mm 間隔で生じ，ひび割れ先端で複数ひび割れに分散している様子がわかる．一方，付着確保の目的で鉄筋（D6）を配置した複合部材では，約 10mm 間隔の複数微細ひび割れが生じ，最大荷重付近でそのうちの 1 本が局所化して破壊にいたった．

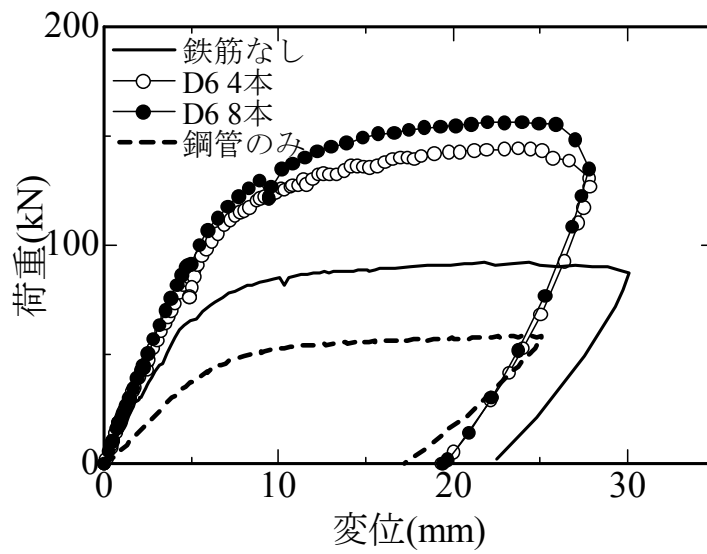


(a) 材齢 14 日

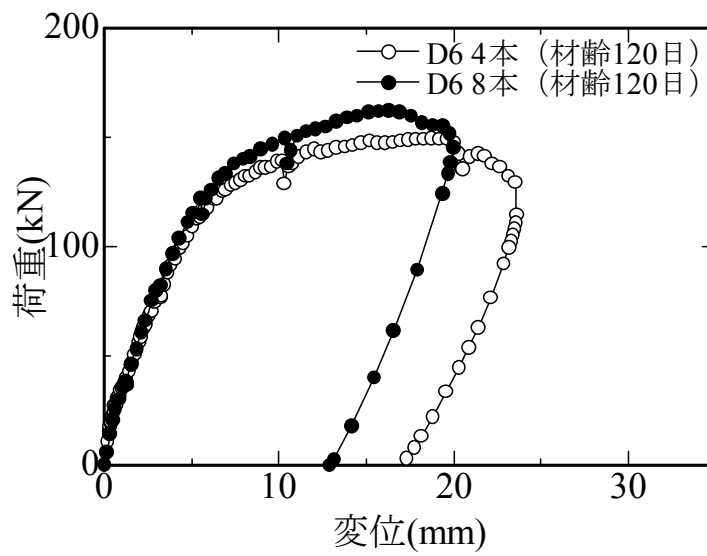


(b) 材齢 120 日

図-3.3 引張応力-ひずみ曲線



(a) 材齢 14 日

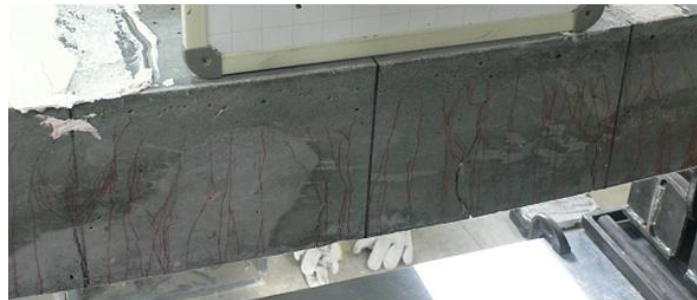


(b) 材齢 120 日 (+NaCl)

図-3.4 複合部材の荷重-変位曲線



(a) 鉄筋なし (14 日)



(b) D6-4 本 (14 日)



(c) D6-8 本 (14 日)



(d) D6-4 本 (120 日)



(e) D6-8 本 (120 日)

図-3.5 ひび割れ性状 (モーメントスパン内)

3.3.3 鉄筋の分担力の推定とひび割れ分散性

図-3.5 に示すように，一体性確保のために溶接した D6 により，ひび割れ分散性が向上し，かつ耐力も大きくなった．しかし，部材内において D6 が直接引張力を分担した可能性がある．そこで，各部位に貼付されたひずみゲージ（圧縮側 UHP-SHCC，圧縮側鋼管，引張側鋼管）断面内のひずみ分布に対して，鉄筋の分担力を求め，作用させた荷重から差し引いた結果を図-3.6 に示す．また，参考までに，鋼管が降伏した時点での荷重と D6 鉄筋が負担している荷重の大きさを表-3.3 に示す．変位約 5mm 強の時点で，約 8kN 程度の分担を鉄筋がしているが，全体の約 10%程度と大きくはないことが分かる．従って，図-3.6 に示すように，推定された鉄筋の分担分を差し引いても，鉄筋がない場合と比較して，鉄筋を溶接した方が UHP-SHCC による補強効果を引き出せることが明らかとなった．

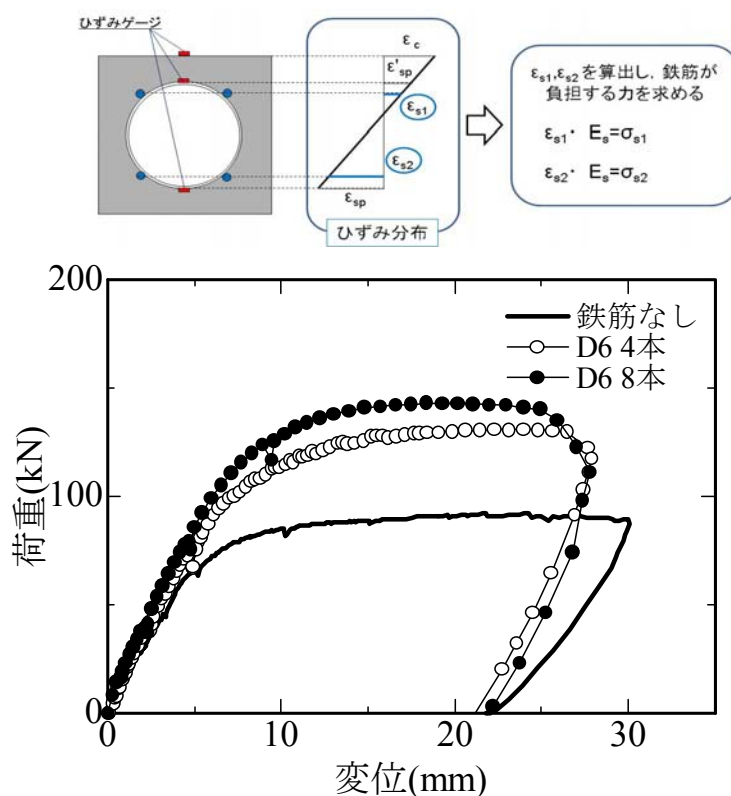


図-3.6 D6 鉄筋の分担力を差し引いた荷重－変位曲線

表-3.3 変位約 5mm における鉄筋の分担力の推定値

	変位 (mm)	荷重 (kN)	鉄筋の総分担力 (kN)
case3-D6 4 本	5.88	90.05	8.34
case3-D6 8 本	5.20	87.69	7.93

3.3.4 塩化物イオンを含有する部材内の鋼材の様子（120 日後）

図－3.7 に、NaCl 無混入の鋼管の腐食状況と、NaCl 混入後 120 日暴露した鋼管の腐食状況を示す。後者において、表面に極軽微な点錆が生じている部分があったが、基本的に極めて健全な状態であった。引き続き、長期の暴露を実施し、実用化に向けての検討を行うことが望ましい。



(a) NaCl 無混入（14 日暴露後）



(b) NaCl 混入（120 日暴露後）

図－3.7 鋼管の腐食状況

3.4 まとめ

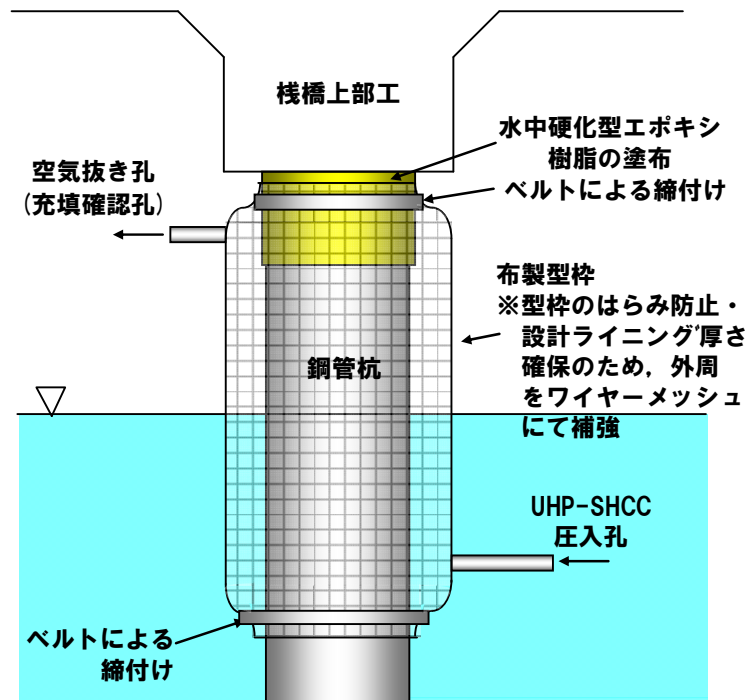
本章では，水中でも施工可能な簡便な方法として鉄筋を部材軸方向に溶接する方法を提案し，一体性確保の効果について，複合部材の曲げ試験等をもとに検討した．鉄筋のない複合部材に比べて，D6 鉄筋を 4 本ないしは 8 本溶接した複合部材では耐力が増加し，ひび割れ分散性が極めて良好であった．また，鉄筋の分担力を差し引いても UHP-SHCC の補強効果は大きく，両者の一体性は十分に確保されていた．

また，NaCl を 20kg/m^3 混入した UHP-SHCC で被覆された複合部材では，力学性状の違いは認められず，また 120 日間養生（暴露）した後でも，内部の鋼管はほとんど腐食していなかった．なお，この後の腐食性状については，引き続き検討していく予定である．

4 章 実大試験体による UHP-SHCC 充填性状の確認

4.1 目的

飛沫帯・干満帯における栈橋鋼管杭の防食として、有機または無機ライニング、ペトロラタム防食などが適用されることが多いが、被覆材の経年劣化、漂流物の衝突による剥がれやひび割れ、FRPカバーの破損など、被覆材自体の耐久性が問題となる場合がある。ここでは、軽量の布製型枠を用いて型枠設置作業を簡略化し、UHP-SHCCの使用により杭変形に対するライニングモルタルの追従性向上、耐衝撃性向上、有害因子（塩化物イオンなど）の侵入抑制などを期待した円柱部材（鋼管杭や円柱橋脚など）のモルタルライニング工法を考案した（図－4.1参照）。ここでは、 $\phi 800\text{mm}$ の鋼管杭に実際にライニングしたときのUHP-SHCCの品質及びライニング厚さ等の出来映えについて調査した結果を示す。



図－4.1 開発されたライニング工法のイメージ図

4.2 工法の概要および施工の流れ

本工法は、図－4.1に示すように、鋼管杭などの円柱部材の外周に布製型枠を巻き立て、その上下端をワイヤーまたはベルトなどで堅固に固定した後に、型枠に予め設置した注入孔よりUHP-SHCCを注入してモルタルライニングする工法である。以降に、施工性試験の状況を示しながら、施工の流れを説明する。

① 型枠ユニットの製作

使用した布製型枠は高強力ポリエステル繊維シート（厚さ0.38mm，重量250g/m²，引張強度2,156N/3cm，伸度15%）であり，現地にて半割の状態で鋼管杭に巻き付けられるように，工場にて布製型枠の接合端面に面ファスナーを縫い合わせたものを製作した．また，型枠設置時における型枠形状の保持が難しいため，布製型枠外周にワイヤーメッシュ（目合い100mm）を貼り合わせ，図－4.2に示すような型枠ユニットを陸上で製作した．このとき，ワイヤーメッシュの上下端は折り曲げ加工し，所定のモルタルライニング厚さを確保できるようにした．



図－4.2 型枠ユニットの設置状況（鋼管上部にはエポキシ樹脂塗布済）

② 杭頭部へのエポキシ樹脂塗布

既設栈橋のモルタルライニングを想定した場合，栈橋上部工が障害となり，杭頭部におけるライニング厚さの確保が難しいと考えられた．そこで，杭頭部はエポキシ樹脂被覆によることとし，図－4.1に示すようにエポキシ被覆を巻き込むようにモルタルライニングする方法とした．

③ 型枠ユニットの設置

エポキシ樹脂の硬化後，図－4.3に示すように，鋼管杭を挟み込むように型枠ユニットを設置し，布製型枠の端部は面ファスナーにより，ワイヤーメッシュの端部は結束線にて緊結した．また，型枠ユニットの上下端および高さ中央に，市販の荷造り用のベルトを巻き付け，モルタルの注入から硬化までの間に，型枠のずれやはらみが生じない処置を施した．



図－4.3 型枠ユニット設置完了

④ モルタルの製造及び注入

圧送用ホースの先端を水中の注入孔へ設置し，注入モルタル（UHP-SHCC）を製造してモルタルポンプにて型枠内へ注入した．なお，注入の状況を図－4.4に示すが，注入または硬化中において漏れや水槽の濁りは生じなかった．

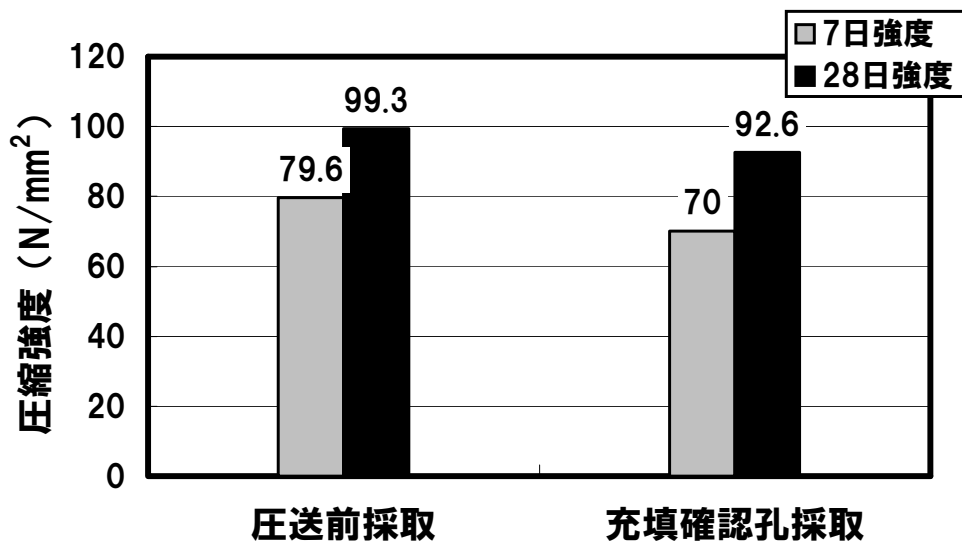


図－4.4 充填状況

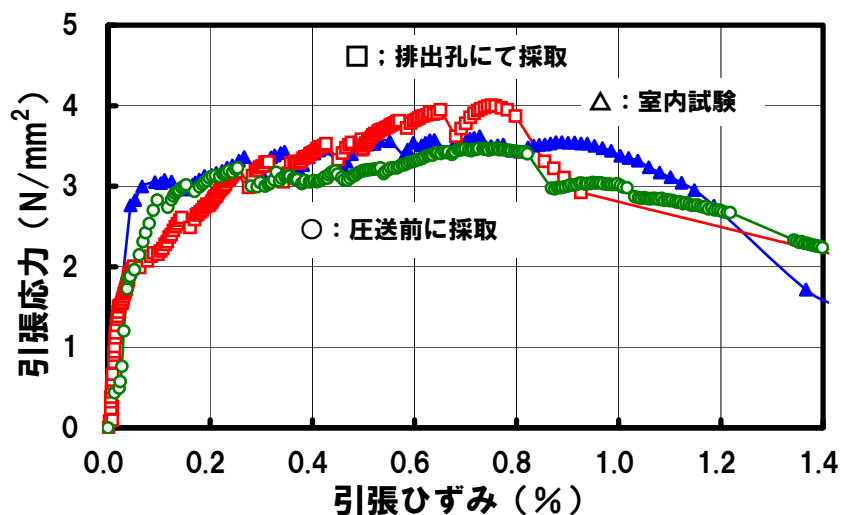
4.3 施工性試験

4.3.1 施工性試験の概要

繊維混入率0.75%（高性能AE減水剤添加率1.5%）のUHP-SHCCを製造し，図－4.5に示



図－4.6 充填前後の圧縮強度変化

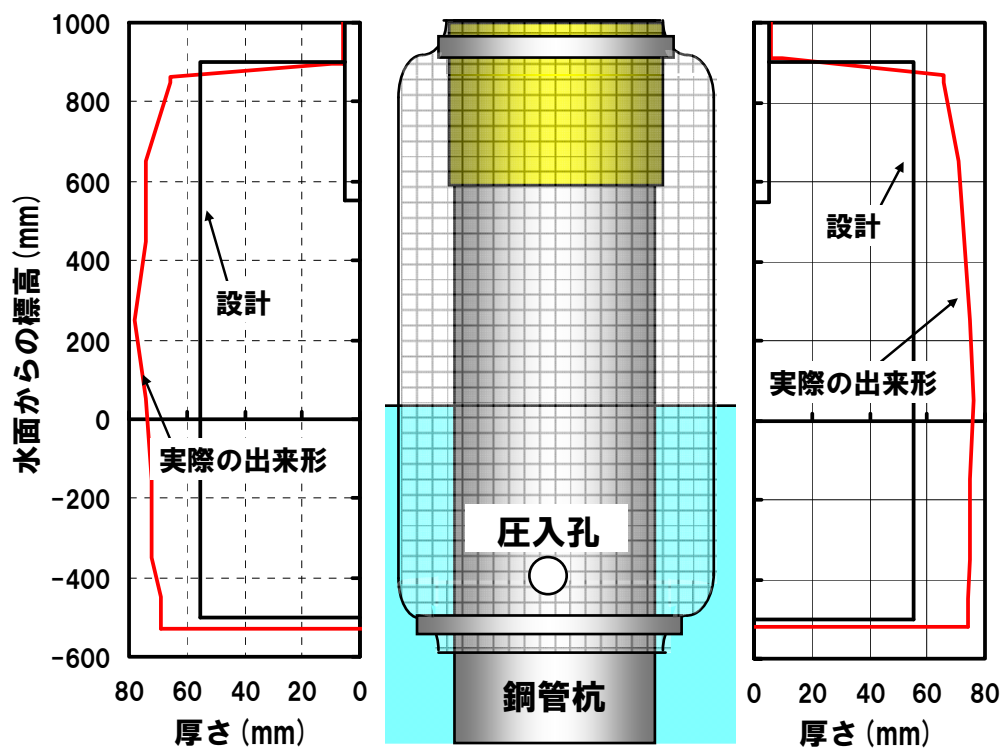


図－4.7 充填前後の引張試験結果

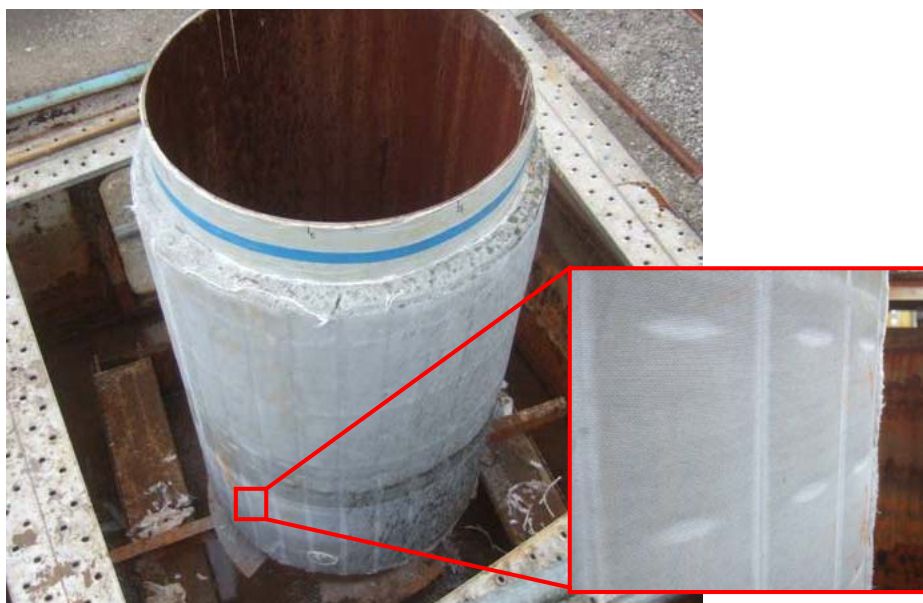
4.3.3 ライニング厚さ及び出来映えについて

図－4.8に布製型枠を取り外して測定したライニング厚さとモルタル表面の観察結果を示す。ライニング厚さは、設計55mmに対して高さ方向全ての箇所において70～80mmと若干大きく、高さ中央付近でその傾向が顕著であったが、ライニング厚さが不足した箇所はなかった。これに関しては、ワイヤーメッシュやベルトによる補強をより強固にすることで、はらみを抑制できるものと考えられる。

また、図－4.9に示すように、硬化後のUHP-SHCCの表面を観察した結果、あばたのない緻密な面が形成されていた。このことから、布製型枠の使用により、耐久性の高いモルタルライニングが実現できる可能性が見出されたものと思われる。



図－4.8 充填後の出来形



図－4.9 表面性状

4.4 まとめ

UHP-SHCC及び布製型枠を用いた，飛沫帯，干満帯の栈橋鋼管杭のモルタルライニング工法の適用性を検討した．施工性試験を通じて，UHP-SHCCが水中部を通過しても圧縮強度や終局ひずみにほとんど影響しないことを確認した．また，本工法により，緻密なモルタル表面の形成，所定のライニング厚さの確保を達成できることを確認した．今後，配合や製造方法に関して詳細な検討が必要と考えられる．

5 章 まとめ

本研究開発で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) UHP-SHCC の塩化物イオンの移動に対する抵抗性を把握するために、塩化ナトリウム水溶液浸漬試験を行い、塩化物イオンの侵入深さや濃度分布を求めた。基本的に UHP-SHCC は普通コンクリートに比べて塩化物イオンの移動に対する高い抵抗性を持つことがわかった。ただし、脱型後直ちに 10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬すると、十分に養生した場合に比べて侵入深さが大きくなる傾向にある。
- (2) 水中でも施工可能な簡便な方法として鉄筋を部材軸方向に溶接する方法を提案し、一体性確保の効果について、複合部材の曲げ試験等をもとに検討した結果、両者の一体性は十分に確保されていた。また、NaCl を 20kg/m^3 混入した UHP-SHCC で被覆された複合部材では、力学性状の違いは認められず、また 120 日間養生（暴露）した後でも、内部の鋼管はほとんど腐食していなかった。
- (3) UHP-SHCC 及び布製型枠を用いた、飛沫帯、干満帯の栈橋鋼管杭のモルタルライニング工法の適用性を検討した。施工性試験を通じて、UHP-SHCC が水中部を通過しても材料としての圧縮強度や終局ひずみにほとんど影響しないことを確認した。また、本工法により、緻密なモルタル表面の形成、所定のライニング厚さの確保を達成できることを確認した。

謝辞

本研究開発において，特に施工実験において，東亜建設工業（株）技術研究開発センターのご協力を得ました．ここに記して謝意を表します．