

氏名（本籍）	田中 亮一（埼玉県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第511号
学位授与日付	平成29年3月25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	超高強度ひずみ硬化型セメント系材料を用いた補強による栈橋構造物の長寿命化（Lifetime extension of pier by strengthening using Ultra High Performance-Strain Hardening Cementitious Composite）
学位論文審査委員	（主査）教授 内田 裕市 （副査）教授 小林 孝一 教授 國枝 稔

### 論文内容の要旨

港湾施設は、我が国の国際競争力維持または強化を担う重要な施設であるとともに、地震や台風襲来等に伴う津波や高潮からの被害を食い止める防災施設である。近年、世界中で大地震や大型台風等が頻発しているが、港湾施設が大規模な損壊を被った場合、地域の社会活動や物流、避難拠点としての役割を果たせない可能性があり、経済活動の停止や制限といった社会的損失に対する危機感が高まっている。加えて、我が国の港湾施設の多くは1960年～1970年代の高度経済成長期に建設されており、今後の老朽化施設の増大が懸念されている。

本研究では、既存栈橋の長寿命化を実現させることを目的に、高強度、高靱性、高耐久性の優れた性質を併せ持つ超高強度ひずみ硬化型セメント系材料（以下、UHP-SHCC）を用いた補修・補強技術を開発した。本研究では、特に鋼管杭と上部工の接合部に着目し、栈橋鋼管杭の長期的な被覆防食性能の確保、UHP-SHCCの優れた材料特性を活かした断面設計手法の確立に向けた検討を行った。

第2章では、UHP-SHCCの材料特性と実構造物への適用例を整理した。また、SHCC（ひずみ硬化型セメント系複合材料）を含めた補修・補強に関する研究事例を整理した。

第3章では、UHP-SHCCの鋼材に対する被覆防食性能を評価した。また、ひび割れを導入した鋼材腐食に対して厳しい条件の供試体による暴露試験の結果も示した。実海洋環境下に約3年間供試体を暴露した結果、UHP-SHCCの塩化物イオンの拡散係数は $0.012\text{cm}^2/\text{年}$ と非常に小さく、また、塩化物イオンはひび割れに沿って侵入して鋼材表面まで達するものの、鋼材腐食は進行していないことを示した。このことから、UHP-SHCCは優れた被覆防食性能を有することを示した。

第4章では、UHP-SHCCの収縮抑制策を検討する目的で実施した自己収縮試験および乾燥収縮試験の結果を示し、収縮低減剤の使用によって収縮ひずみが低減され、添加量が多いほどその効果が増大することを示した。

第5章では、UHP-SHCCと鋼管の一体化方法および杭頭構造に関して、小型供試体を用いた基礎的な検討結果を示した。載荷試験により、一体化には鋼管杭の軸方向に設置する鉄筋の最低限の仕様があり、また、杭頭構造はUHP-SHCCを鋼管杭表面から上部工まで連続させる方法が良いことを示した。

第6章では、UHP-SHCCの上部工への定着方法を検討した。UHP-SHCCに埋設した頭付きアンカーボルトの引抜き試験を実施し、許容引抜き耐力の算定手法を提案した。

第7章では、大型供試体を用いた曲げ載荷試験によって補強効果を確認した結果を示した。載荷試験により、UHP-SHCC巻立てによって曲げ耐力が大幅に向上できること、また、ファイバーモデルによって曲げ耐力を推定できることを示した。

第8章では、UHP-SHCC巻立ての施工性について示した。実施工を想定した注入実験による充填性、ポンプ圧送性、UHP-SHCCの水中流動による品質変化を検証した結果を示した。また、実栈橋鋼管杭に

対する試験施工により、施工手順を確認した結果を示した。

第9章では、UHP-SHCC 巻立ての断面仕様、設計法、適用条件を整理した。また、想定した栈橋に対する UHP-SHCC 巻立ての試設計とライフサイクルコストの試算例を示した。

### 論文審査結果の要旨

この論文では、既存栈橋の長寿命化の実現に向けて、特に栈橋上部工における鋼管杭の杭頭部を対象に、高強度、高靱性、高耐久性の優れた性質を併せ持つ超高強度ひずみ硬化型セメント系材料（UHP-SHCC）を用いた補修・補強技術を開発した。補修による耐荷力の向上効果の確認と実大部材での検証、ならびにその評価方法の確立、材料としての安定性と耐久性の確認、施工方法の確立、当該工法を用いた構造物のライフサイクルにおける優位性の考え方の提案、が行われ当該工法の材料レベルから構造レベルまで一貫したシステムの構築が行われた。このように、この論文には新規性、有用性に優れ、また今後の発展性も有している。したがって、学位審査委員会は、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

### 最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出された論文の主要部分が、下記に示す 6 編の審査付き論文として既に発表済みであることを確認するとともに、平成 29 年 2 月 6 日に開催された学位論文公聴会における質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

---

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. Ryoichi Tanaka, Minoru Kunieda, Mitsuyasu Iwanami, Ema Kato, Yuichiro Kawabata and Takahiko Amino : A study on strengthening method for pier piles using Ultra High Performance-Strain Hardening Cementitious Composite, Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT3), T1-2-1, August 18-21, 2013, Kyoto, Japan
2. Ryoichi Tanaka, Takahiko Amino, Takashi Habuchi, Minoru Kunieda, Mitsuyasu Iwanami, Ema Kato and Yuichiro Kawabata : A fundamental study on improvement of flexural capacity by lining method for pier piles using UHP-SHCC, Fourth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE2014, 1485-1490, 2014. 11, Tokyo, Japan
3. 網野貴彦, 国枝稔, 加藤絵万, 岩波光保, 田中亮一 : ひび割れ分散性からみた超高強度ひずみ硬化型モルタルと鋼材の一体化方法に関する基礎的検討, 日本材料学会, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 13, pp. 381-388, 2013. 11
4. 田中亮一, 國枝稔, 網野貴彦, 忽那惇 : 超高強度ひずみ硬化型セメント系材料に埋設された頭付きアンカーボルトの引抜き耐力とその算定手法に関する検討, 日本コンクリート工学会, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 1, pp. 327-332, 2016. 7
5. 田中亮一, 国枝稔, 岩波光保, 加藤絵万, 網野貴彦 : 超高強度ひずみ硬化型モルタルを用いた栈橋鋼管杭補強工法の設計手法および施工法に関する検討, 日本材料学会, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 14, pp. 447-452, 2014. 10
6. Ryoichi Tanaka, Minoru Kunieda, Mitsuyasu Iwanami, Ema Kato and Takahiko Amino : Development of jacketing method for pier piles using UHP-SHCC, 9th Rilem International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, BEFIB2016, September 19-21, 2016, Vancouver, Canada