

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289142

研究課題名(和文) 社会インフラ施設再生に向けた既設コンクリート構造物の新しい補強方法

研究課題名(英文) New Strengthening Method for Existing Concrete Structures to Achieve the Upgrading of Infrastructures

研究代表者

二羽 淳一郎(Niwa, Junichiro)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：60164638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンクリート構造に対する簡易で有効な新しい補強方法の開発を目指した。補強方法として、(1)CFRPシート接着、(2)UFC板による補強、(3)埋設型枠とPCストランドの併用補強、を実施した。(1)では、PC鋼材の1/2がスパン中央で切断されても、CFRPシートをPCはりの下面に接着することにより、PCはりの曲げ耐力を当初水準に復元できること、(2)では、プレテンションUFC板の接着により損傷RC部材の曲げならびにせん断耐力を当初の値に回復できること、(3)の細径ステンレス鉄筋を使用した埋設型枠とPCストランドの併用補強においても、十分に補強効果のあること、を確認した。

研究成果の概要(英文)： In this research, the simple, effective and new strengthening methods for existing concrete structures have been developed. First one is the method to attach the CFRP sheet to concrete structures. Second one is the method to attach the ultra high-strength fiber reinforced concrete (UFC) plate to concrete structures. Last one is the method to use the embedded form and PC strands in combination.

In the first one, when 50% of PC strands are cut off at the span center, the flexural capacity of a PC beam can be recovered completely by attaching CFRP sheets adequately at the bottom of a PC beam. In the second one, the flexural and shear capacities of damaged reinforced concrete beams can be restored by attaching the UFC plate on the surface of damaged reinforced concrete beams. In the last one, the strengthening effect of embedded form with fine diameter stainless bars and PC strands in combination can increase the capacity of the original damaged concrete structures significantly.

研究分野：Structural Concrete

キーワード：Structural Concrete Strengthening

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災の津波被害、笹子トンネルの天井板落下事故等、経年劣化する社会インフラ施設の再生はわが国にとって喫緊の課題である。公共事業費の大幅な増加が望めない昨今の状況を考えると、これらの更新や新設は事実上困難である。したがって、経年劣化した既設コンクリート構造物に対する簡便で有効な新しい補強方法を提案し、多くの費用をかけずに、既設コンクリート構造物を丈夫で長寿命なものに改造するための研究を推進する。経年劣化した既設コンクリート構造物に対する簡便かつ有効な補強方法は、安全・安心な社会の実現に向けて、必要で欠くことのできない対応策である。これからのわが国の社会インフラ施設の再生に向けて、既設コンクリート構造物に対する新しい補強方法を開発し、提案することが本研究開始当初の背景である。

### 2. 研究の目的

(1)社会インフラ施設の経年劣化に伴う耐力や変形能力の低下は深刻であり、東日本大震災における津波被害、笹子トンネルの天井板落下事故に見られるように、国民の安全安心な生活を脅かす深刻な問題となっている。コンクリート構造物は、社会インフラ施設を構成する重要な役割を担っているが、経年劣化により、所定の耐力や変形能力が低下したと判断される場合は、適切な対策を講じる必要がある。しかしながら、公共事業費の大幅な増加が見込めない昨今の状況を考えると、これら経年劣化した施設の更新や新設は困難であり、したがって簡便かつ有効な補強方法が必要となってくる。

コンクリート構造物の補修ならびに補強方法としては、ひび割れへの樹脂注入から始まり、例えば FRP シートの接着、FRP メッシュの接着、あと施工アンカーを用いた鋼板接着から、鉄筋コンクリートによる巻立てに至るまで、各種の手法が提案されている。このような状況の中、本研究では、低下した耐力を構造的に回復することのできる簡易で有効な新しい補強方法の開発を目指すことにした。

(2)簡便で有効な新しい補強方法として、研究代表者ならびに研究分担者は、従来までに、(a)破断した PC 鋼材を有する PC はりに対する CFRP シート接着による補強方法、(b)プレテンション UFC 板を用いた、損傷した RC 部材の曲げ補強、(c)細径ステンレス鉄筋を用いた RC 板と PC ストランドを併用した、損傷した RC 部材の曲げおよびせん断補強、等に関する予備検討を実施し、独自の成果を得ている。例えば、(a)に関しては、プレテンション形式の PC はりを対象に、配置された PC 鋼材の 1/2 がスパン中央で切断された際に、曲げ耐力は当初のほぼ 1/2 に低下するが、CFRP シートを PC はり下面に適当量接着す

ると、PC はりの曲げ耐力が当初の水準にまで復元することを見出している。

(3)このように CFRP シートを接着するだけで、耐力低下した PC 部材の曲げ耐力を大きく回復できる。また、(b)のプレテンション UFC 板接着による補強方法も期待できる耐力向上策であり、これを適当量使用すれば、損傷した RC はり部材の曲げ耐力の増加に寄与できる。さらに、(c)の細径ステンレス鉄筋を用いた RC 板と PC ストランドを併用した損傷した RC 部材の曲げおよびせん断補強など、簡便で有効な新しい補強方法が、利用可能な段階に達しており、これらを整理統合して、実効のある補強手法を構築していくことが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

(1)既に予備的な検討を進めており、基礎的な知見は集約されつつある。平成 26 年度は、各種の新しい補強手法に関する基礎的な実験データを蓄積することとした。対象は、(a)FRP シート接着法、(b)FRP メッシュ接着法、(c)プレテンション UFC 板接着法、(d)細径ステンレス鉄筋を用いたセメント系埋設型枠と PC ストランドの併用法、(e)その他、である。(a)~(d)はいずれも簡易であるが、その効果が期待できる補強法である。これらに対して系統的な実験を実施した。

(2)平成 27 年度は、解析的な研究を併用し、なぜ簡易な補強手法で、経年劣化した既設コンクリート部材の耐力や変形能力を、相当程度に復元できるのかという点を明らかにすることとした。

(3)平成 28 年度は過去 2 年間の蓄積を踏まえ、設計・施工上の細部を検討し、実用化のための補強手法を完成させ、設計・施工に関する提言をまとめることとした。

### 4. 研究成果

(1)本研究は、既設コンクリート構造物の低下した耐力を構造的に回復することのできる簡易で有効な新しい補強方法の開発を目指すものである。新しい補強方法として、(a)破断した PC 鋼材を有する PC はりに対する CFRP シート接着による曲げならびにせん断補強、(b)プレテンション UFC 板を用いた損傷した RC 部材の曲げならびにせん断補強、(c)細径ステンレス鉄筋を使用した RC 板 (SUS 埋設型枠)と PC ストランドを併用した、損傷した RC 部材に対するせん断補強、等の研究を実施した。(a)については、ポストテンション方式の PC はりを対象に、配置された PC 鋼材の 1/2 がスパン中央で切断された (すなわち、PC 鋼材量が 1/2 に減少した)際に、曲げ耐力はほぼ 1/2 に低下するものの、CFRP シートを PC はりの下面に適当量、適切な方法で接着することにより、PC はりの

曲げ耐力を当初の水準まで復元できることを見出した。また、せん断補強鉄筋が完全に消失した場合であっても、CFRPシートをPCはりのウェブ部分に適量、適切に接着することにより、せん断耐力を当初の水準まで復元できることを確認した。

(2)プレテンション UFC 板接着による損傷 RC 部材の曲げならびにせん断補強に関しても、当初の曲げならびにせん断耐力を十分に回復できることを確認した。

(3)細径ステンレス鉄筋を使用した RC 板 (SUS 埋設型枠) と PC ストランドを併用して、損傷した RC 部材に対するせん断補強を行った結果、せん断補強効果、ならびに変形能力の増加が顕著となり、十分にせん断補強効果のあることが確認できた。これは耐震補強の面からも、有用な手法であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 31 件)

Chenwei Ho, Takuro Nakamura, Takayuki Iwanaga, Junichiro Niwa: Shear Behavior of Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Tapered Beams without Stirrups, Journal of JSCE, Division E, 査読有, Vol.5, 2017, 170-189.

[http://doi.org/10.2208/journalofjsce.5.1\\_170](http://doi.org/10.2208/journalofjsce.5.1_170)

熊谷祐二, 中村拓郎, 坂本 淳, 武田 均, 二羽淳一郎: あと施工プレート定着型せん断補強鉄筋による RC はりのせん断補強効果, 土木学会論文集 E2, 査読有, Vol.73, 2017, 118-132.

<http://doi.org/10.2208/jscejmcs.73.118>

Fakhruddin, Takuro Nakamura, Yuji Sato, Masahiko Yamada, Junichiro Niwa: Mechanical Behavior of Widening Prestressed Concrete Deck Slabs under Concentrated Load, Journal of Advanced Concrete Technology, 査読有, Vol. 15, 2017, 38-54.

<http://doi.org/10.3151/jact.15.38>

Limpaninlachat, P., Matsumoto, K., Nakamura, T., Kono, K., Niwa, J.: Flexural Strengthening Effect of Pre-tensioned UFC Panel on Reinforced Concrete Beams, Journal of JSCE, Division E, 査読有, Vol.4, 2016, 181-196.

[http://doi.org/10.2208/journalofjsce.4.1\\_181](http://doi.org/10.2208/journalofjsce.4.1_181)

Nguyen, T.T.D., Matsumoto, K., Sato, Y., Yamada, M., Niwa, J.: Shear Resisting Mechanism of Pre-tensioned

PC Beams without Shear Reinforcement Strengthened by CFRP Sheets, Journal of JSCE, Division E, 査読有, Vol.4, 2016, 59-71.

[http://doi.org/10.2208/journalofjsce.4.1\\_59](http://doi.org/10.2208/journalofjsce.4.1_59)

中田裕喜, 渡辺 健, 田所敏弥, 服部尚道: 両端が固定されたせん断スパン比の小さい鉄骨鉄筋コンクリートはりのせん断耐力評価, 土木学会論文集 E2, 査読有, Vol.72, 2016, 440-455.

<http://doi.org/10.2208/jscejmcs.72.440>

Suwanpanjasil, S., Matsumoto, K., Niwa, J.: A New Alternative Shear Improvement of Concrete Beams by Internally Reinforcing PBO Fiber Mesh, Journal of JSCE, Division E, 査読有, Vol.3, 2015, 67-80.

DOI: なし

渡辺 健, 野間康隆: セメント系複合材料を対象とした形状関数による高速画像相関アルゴリズムの提案, 土木学会論文集 A2, 査読有, Vol.70, 2015, 929-936.

[http://doi.org/10.2208/jscejam.70.1\\_929](http://doi.org/10.2208/jscejam.70.1_929)

[学会発表](計 8 件)

Limpaninlachat, P., Matsumoto, K., Nakamura, T., Kono, K., Niwa, J.: Evaluation of Damaged RC Beams Strengthened in Flexure by Pre-tensioned UFC Panel, fib Symposium, Nov. 21-23, 2016, Cape Town (South Africa)

Miki, T., Tsukahara, H.: Crack Propagation in ASR Damaged Concrete Detected by Image Analysis, Ninth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, May 29 – June 1, 2016, Berkeley (USA)

Suwanpanjasil, S., Matsumoto, K., Niwa, J.: Shear Performance of Concrete Beams Internally Reinforced with PBO Mesh, IABSE Symposium, May 13-15, 2015, Nara (Japan)

Miki, T., Matsutani, K., Tsukahara, H.: Tension Softening Behavior of ASR Damaged Concrete Detected by Image Analysis, CONMAT'15, Aug. 19-21, 2015, Whistler (Canada)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

二羽 淳一郎 (NIWA, Junichiro)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授  
研究者番号： 60164638

##### (2) 研究分担者

松本 浩嗣 (MATSUMOTO, Koji)  
東京大学・生産技術研究所・講師  
研究者番号： 10573660

中村 拓郎 (NAKAMURA, Takuro)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・助教  
研究者番号： 20588850

三木 朋広 (MIKI, Tomohiro)  
神戸大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号： 30401540

渡辺 健 (WATANABE, Ken)  
公益財団法人鉄道総合技術研究所・研究員  
研究者番号： 40450746

##### (3) 連携研究者

( )  
研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )

以上