

機関番号：33919

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21860079

研究課題名（和文） ハイブリッド連続繊維緊張材および埋め込み緊張補強技術の開発

研究課題名（英文） Development of structural strengthening method with prestressed near-surface mounted FRP reinforcements

研究代表者

岩下 健太郎 (IWASHITA KENTARO)

名城大学・理工学部建設システム工学科・助教

研究者番号：30544738

研究成果の概要（和文）：本研究では、ハイブリッド連続繊維緊張材の各種引張性能（剛性、強度、および靱性）を実験的に検討し、安価なピアノ線と玄武岩繊維複合材（BFRP）の組み合わせにより引張性能を総合的に向上できることを実験的に明確化した。また、埋め込み・接着材にエポキシ樹脂を、かぶり補強材にポリマーセメントを用いることで、より大きな付着強さが得られることを明らかにした。そして、この成果を基に、FRP 緊張補強技術による補強効果を定量的に示し、簡易算定法を確立することにより、本補強技術の補強性能を明確化した。

研究成果の概要（英文）：Basalt fiber reinforced polymers (BFRP) and piano wires are considered in the hybridization in order to realize high performances in stiffness, strength, and ductility. It is confirmed that the bond strengths at epoxy putty-concrete interface and at polymer cement mortar and FRP are not so high, but a good bonding can be realized between concrete and polymer cement mortar and between epoxy putty and FRP. The structural performances of RC beams strengthened can be enhanced largely with prestressed FRP. An analytical study is also performed in order to investigate the flexural behavior of RC beams strengthened with prestressed FRP.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	930,000	279,000	1209,000
2010年度	820,000	246,000	1066,000
年度			
年度			
年度			
総計	1750,000	525,000	2275,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：複合材料・物性、構造・機能材料、長寿命化、防災

1. 研究開始当初の背景

近年の既存インフラ施設の老朽化や地震防災に関する認識の高まりに伴い、維持・修繕および補強・改造に伴う負担が急激に増加してきている。これまでに、緊張材の高度な引張特性を有効活用できて、死荷重に対する補強も可能な埋め込み緊張補強技術を開発して構造物の長寿命化を図り、CFRP ケーブルを緊張材に用いて高度な接着性や補強効

果が確保できることを実験的に示した。しかし、材料コストに難があり、緊張材の性能や埋め込み材、端部定着方法、簡便な取り扱いの緊張装置の構築などに多くの課題があった。

2. 研究の目的

本研究では、ハイブリッド連続繊維緊張材の各種引張性能（剛性、強度、および靱性）を実験的に究明し、高度な引張特性を有する

ハイブリッド緊張材を開発することにより、本補強技術における補強材の高度化を図る。このとき、材料コストも考慮する重要な指標の一つとする。また、以下の検討により本技術の実用化を促進させる。i)緊張工程を確立する、ii)埋め込み材の種類を考慮して、FRPとコンクリートの付着特性を両引きせん断試験により明らかにする。そして、この成果を基に、構造物に対する補強効果を定量的に示し、簡易算定法を確立することにより、本補強技術の補強性能を明確化する。

3. 研究の方法

構造システムの各性能指標を高度化させたハイブリッド繊維緊張材の開発、開発されたハイブリッド連続繊維補強材によるコンクリート構造部材の接着・付着特性、圧縮・曲げ・せん断・靱性補強効果に関する検討、構造性能を踏まえた連続繊維補強材の最適設計などを実施する。

4. 研究成果

(1) FRP 埋め込み緊張補強技術 (PNSM) における曲げ補強構造形式の構築

PNSM の施工工程は、既設 RC あるいはプレレストコンクリート (以後、PC と呼称する) 構造物の引張縁かぶりに FRP ケーブルの径より深い溝を掘り、FRP ケーブルを緊張状態で溝内に設置した上で溝を埋め込み材を充填して固定するというものである。補強手順を図-1 に示すように構築した。大抵、桁の両端部にはクリアランスが少ないため、ケーブルとシートを治具で接続し、下向きに緊張するのが望ましい。

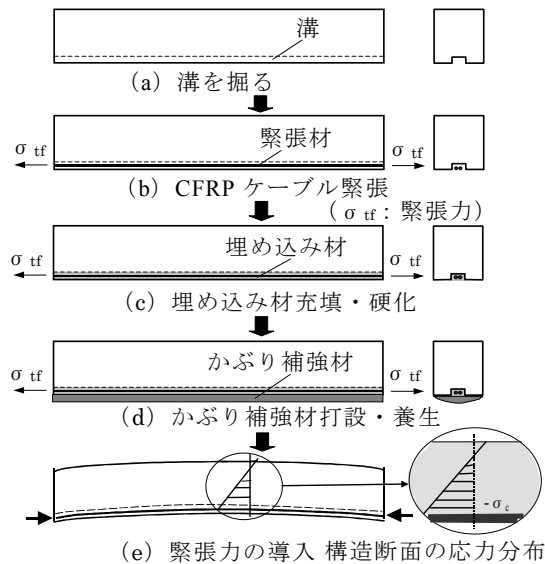


図-1 PNSM による RC 構造物の補強手順

(2) ハイブリッド連続繊維緊張材の引張特性の検討

安価で高い引張弾性率を有するピアノ線を玄武岩 FRP (BFRP と呼称) の内部に混入

させる (PW-BFRP と呼称) ことで、耐腐食性を維持しつつ引張弾性率を高めることにより、緊張補強材の物性を総合的に向上させる。PW-BFRP の引張試験結果を図-2 に示す。図内の B の後ろの数字は BFRP の補強量、P の後ろの数字はピアノ線の補強量を意味する。ピアノ線および BFRP シートの引張特性から想定される剛性が得られることを確認した。

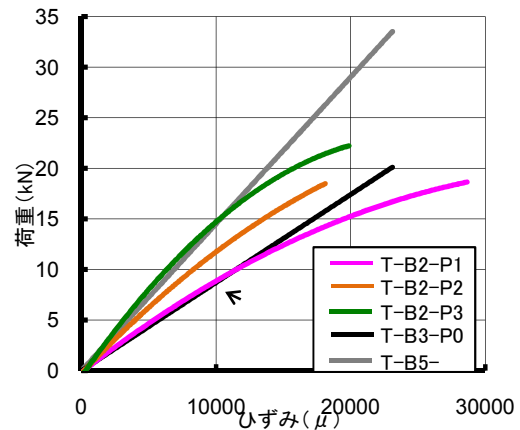


図-2 PW-BFRP の荷重-ひずみ関係

(3) 埋め込み FRP の付着強さの検討

両引き付着試験により、埋め込み FRP の付着強さを検討した。かぶり補強材の種類となるケースに関する荷重-変位の関係を図-3 に示す。かぶり補強材が図-4 に示した界面(1)での早期剥離により、付着強さの向上効果には限界があった。エポキシパテを埋め込み材に用いて FRP と埋め込み材の付着を確保し、ポリマーセメントでかぶり補強を行うことで、界面 (2) での剥離となり、より大きな付着強さが得られることを明らかにした。

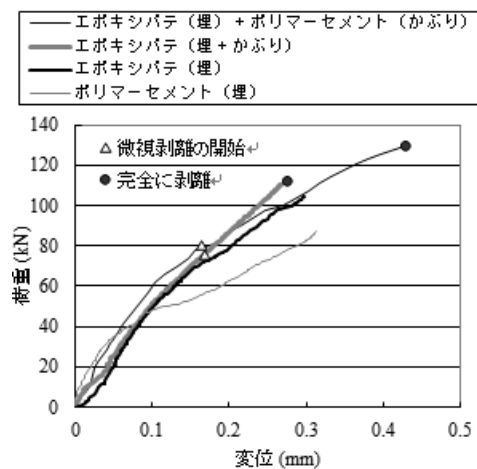


図-3 荷重-変位の関係 (両引き試験: かぶり補強材の種類を考慮)

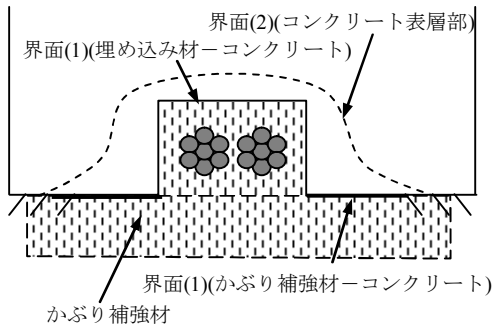


図-4 接着界面周辺の断面図

(4) PNSM 補強による RC 構造物の補強効果
 150mm×200mm 矩形断面で引張鉄筋比は 1.7%, 全長は 2.1m の RC 梁を作製し, 2 点曲げ載荷試験を実施して, PNSM による RC 梁の曲げ補強の効果や有意性の検討および埋め込み材とかぶり補強材の最適化を行った。FRP への導入緊張力が大きいほどひび割れ発生荷重, 引張鉄筋降伏荷重, そして剛性といった使用性や最大荷重が総合的に向上され, より大きなひび割れ抑制効果が得られることが実験的に示された (図-5)。また, エポキシパテを埋め込み材に用いて FRP と埋め込み材の付着を確保し, ポリマーセメントでかぶり補強を行うことで, RC 梁の最大荷重や終局時の変位がより大きくなり, ひび割れ幅がより大きく抑制されることが実験的に明確となった (図-6, 図-7)。さらに, PNSM 補強 RC 梁のひび割れ発生荷重および引張鉄筋降伏荷重は, 既往の曲げ理論を用いた評価方法により, うまく評価できることがわかった。また, 剥離モードとなったケースでの最大荷重は同様の破壊モードとなった両引きせん断試験の結果を用いて, 既提案の算定方法によってうまく算定できることがわかった。さらに, ひび割れ幅は既往の算定式を用いてうまく算定できることがわかった。

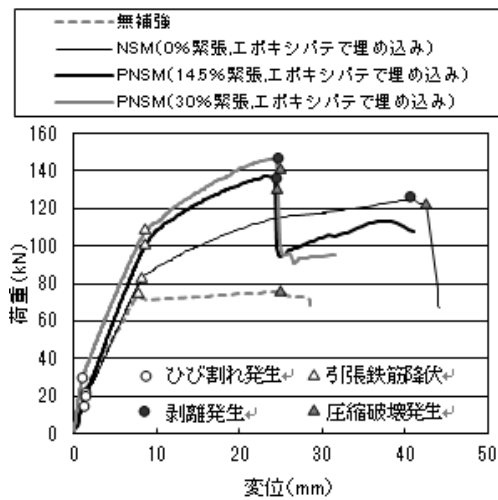


図-5 荷重-変位の関係 (導入緊張力)

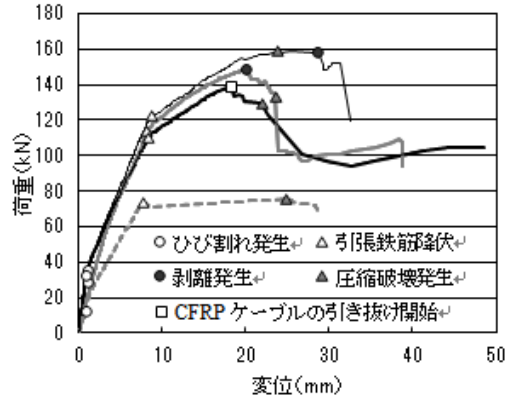
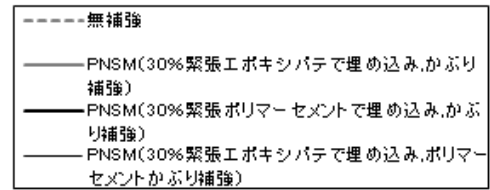


図-6 荷重-変位の関係 (埋め込み材)

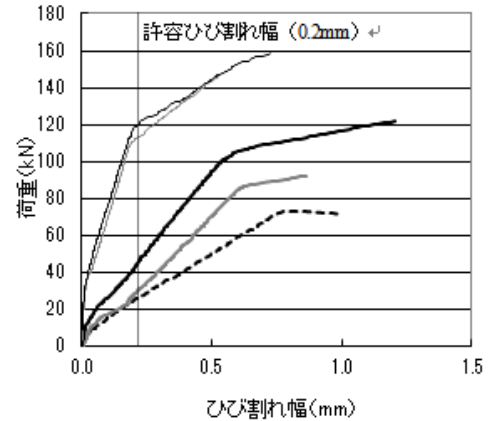
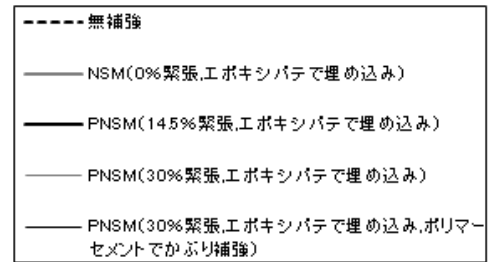


図-7 荷重-変位の関係 (埋め込み材)

(5) ハイブリッド FRP 補強による RC 構造物の補強効果

前項において説明したものと同様の RC 梁を作製し, 2 点曲げ載荷試験を実施して, ハイブリッド FRP による RC 梁の曲げ補強の効果を検討した。荷重と変位の関係を図-8 に示す。図内の B の後ろの数字は BFRP の補強量, P の後ろの数字はピアノ線の補強量, そして最後部の % は導入緊張レベル (PW-BFRP の破断強度を 100% とする。) を意味する。PW-BFRP 緊張接着補強 RC 梁の曲げ構造性能

について、同等の補強量であっても、ピアノ線の混入によりシートの付着強さが向上し、最大荷重が増加することが実験的に明確となった。また、導入緊張力およびピアノ線混入量が大きいほど、ひび割れ発生荷重、鉄筋降伏荷重、最大荷重が大きくなる傾向が確認された。さらに、図-8 に破線で示した算定値と実線で示した実験値を比較して、PW-BFRP 緊張接着補強 RC 梁の曲げ構造性能について、本研究で示した簡易な算定手法により、荷重-変位関係にある程度表現できることを実験的に示した。

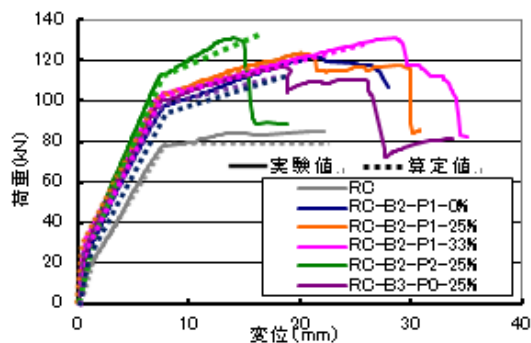


図-8 荷重-変位関係

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 3 件)

- ① 岩下健太郎, 呉智深, 橋本拓也, 金光男, ピアノ線混入 BFRP シート緊張接着補強 RC 梁の曲げ構造性能, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, 査読有, Vol.33, 2011.7 (採録決定済)
- ② Z.S. Wu, X. Wang, K. Iwashita, T. Sasaki, Y. Hamaguchi, Tensile fatigue behaviour of FRP and hybrid FRP sheets, Composites Part B: Engineering, 査読有, Vol. 41, Iss. 5, pp.396-402, 2010.7
- ③ 呉智深, 岩下健太郎, 孫曉荷, 小林朗: FRP ケーブルの埋め込み緊張補強技術の確立, 構造工学論文集, 土木学会, 査読有, Vol.56A, pp.630-643, 2010.3

[学会発表] (計 5 件)

- ① 早川鋭, 岩下健太郎, 先貼り FRP シートによる FRP 緊張接着端部付着強さの向上効果の検討, 土木学会中部支部研究発表会, 中部大学, 2011.3.4
- ② 金光男, 岩下健太郎, 鋼線混入 FRP シートの付着挙動に関する実験的研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 北海道大学, 2010.9.1
- ③ 岩下健太郎, 連続繊維複合材の接着によ

る RC・PC 構造物の補修・補強技術の開発, 中部セメントコンクリート研究会 第 2 回材料部会 (招待講演), 愛知工業大学本山キャンパス (愛知県), 2009.12.21

- ④ K. Iwashita, Z.S. Wu, T. Hashimoto, Strengthening RC structures with externally prestressed basalt FRP-Steel wire hybrid sheets, Proceedings of the Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS2009), Sheraton Walkerhill Hotel (韓国, ソウル), 2009.12.10
- ⑤ K. Iwashita, Z.S. Wu, T. Hashimoto, Strengthening effects of RC beams with basalt FRP-steel wire hybrid sheets, International Symposium on Innovation and Sustainability of Structures in Civil Engineering 2009 (ISSS' 2009), Ramada Plaza Guangzhou (中国, 広州), 2009.11.30

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩下 健太郎 (IWASHITA KENTARO)

名城大学・理工学部建設システム工学科・助教

研究者番号: 30544738

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし