

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24246080

研究課題名(和文)高機能・高耐久性にすぐれた次世代ハイブリッド構造の創成と設計法の構築

研究課題名(英文)Creation of next generation hybrid materials with high performance and durability for construction of rational design methods

研究代表者

日野 伸一 (Hino, Shinichi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00136532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 26,800,000円

研究成果の概要(和文)：従前のコンクリートの品質改善や繊維強化プラスチック(FRP)など新素材との複合化をはかり、高機能で耐久性に富み、ライフサイクルコストで経済性に優れた新たな構造材の開発と、その設計法についての有用な知見を集積した。
具体的成果として、各種の短繊維を混入した軽量2種コンクリートの諸強度の定式化、RC部材のせん断耐力評価式の提案、ガラス繊維(GFRP)引き抜き成形材や炭素繊維(CFRP)グリッドなどを用いたコンクリート部材の力学特性および設計評価式の提案、廃タイヤをコンクリートへ有効利用したコンクリートの材料力学特性および耐久性の解明、などについての知見を得た。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to promote quality improvement and hybrids using conventional concrete material and new fiber-reinforced plastics (FRP), which are expected to be the new structural materials for the 21 century.

The major results obtained from this study are as follows; Formulation of strength of super-light weight concrete adding short fiber reinforcement, Evaluation on shear ultimate strength of RC beam reinforced with GFRP bars and CFRP grids, Investigation of strength characteristics and effective diffusion coefficient of rubberized concrete.

研究分野：土木工学

キーワード：複合材料 複合構造 軽量コンクリート 繊維補強プラスチック 繊維補強コンクリート 補修補強 リサイクル

1. 研究開始当初の背景

本研究は、研究代表者らが進めてきた研究課題「耐久性に優れた次世代高性能ハイブリッド構造材の開発とその合理的設計法の構築」(科学研究費 基盤研究 (B) (一般) 平成 19 年度～21 年度) をさらに発展させた高性能構造材の創生をめざす、きわめて画期的で例を見ない研究課題である。しかし、個々の課題については、解明すべき点が山積している。以下に、それらを具体的に説明する。

(1) 短繊維補強された軽量 2 種コンクリート構造材の開発

粗骨材、細骨材ともに人工軽量骨材を用いた軽量 2 種(単位体積重量 1.5 程度)を対象に、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のグリッドなど、各種補強材を用いたコンクリート補強工法への適用技術の構築については、低強度、低じん性など解決すべき課題が山積しており路盤材などの非構造材への適用に止まっている。研究代表者らは、鋼繊維、ビニロン繊維などの短繊維補強を加えることにより、これらの問題解決を図り、超軽量で耐食性に優れたコンクリート構造材としての適用可能性を示唆している。

(2) FRP 連続補強材の土木構造物への適用

欧米や沖縄の橋梁の塩害対策としてガラス繊維補強材(GFRP)による橋の実用実績がわずかにある。また、橋梁床版や橋脚の補強に炭素繊維(CFRP)シート接着工法が用いられている以外は、さほど実用化が進んでいない。軽量で強度特性や耐食性に優れた新素材によるハイブリッド構造材の開発と普及が急がれる。

2. 研究の目的

従前の主要建設材料であるコンクリートの品質改善や複合化はもとより、繊維強化プラスチック材などの新素材の積極的な活用を図り、高機能で耐久性に富み、ライフサイクルコストで経済的となる新たな高性能ハイブリッド構造材の開発と合理的設計法の構築を目的とする。

具体的な研究項目としては、以下のとおりである。

- (1) 人工軽量骨材と鋼およびビニロン短繊維の混入による軽量 2 種コンクリート構造材の力学特性の究明とその設計法の確立
- (2) ガラス繊維引抜き成形補強材(GFRP)接合部の力学および耐久性能の究明

- (3) 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のグリッドなど、各種補強材を用いたコンクリート補強工法への適用技術の構築

- (4) 廃タイヤなど、コンクリート材料への有効利用の究明

3. 研究の方法

研究代表者らが進めてきた本研究に関連した過去の研究成果を基に、以下の項目について実験および解析的検討を行う。

- (1) 鋼およびビニロン短繊維の混入による軽量 2 種コンクリート構造材の力学特性とその設計法の確立

使用する短繊維は、鋼繊維、ビニロン繊維の 2 種類とし、せん断スパン比、骨材の種類などを変化させて、できるだけ多くのデータを集積することが必要である。得られたデータを統計的処理することにより、コンクリートの諸強度評価式および RC 版の設計評価式を提案する。

- (2) ガラス繊維引抜き成形補強材(GFRP)接合部の力学および耐久性能の究明

GFRP 補強材の曲げ・せん断などの構造特性は繊維と接着剤の性能に依存する。そこで、はり部材による実験とその数値シミュレーションによる検討を行う。また、GFRP 接合部の実験および屋外暴露試験による GFRP の長期耐久性の究明を行う。

- (3) 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のグリッドなど、各種補強材を用いたコンクリート補強工法への適用技術の構築
高耐久性材料である炭素繊維補強材(CFグリッド)および CFRP ストランドシートを用いることにより、新工法となる耐久性の高い補強法を提案する。そこで、以下の項目について実施する。

- ①CF グリッドと PCM の付着特性および CF グリッド同士の継手の挙動
- ②CF グリッドを用いたはり試験による補強設計法の構築
- ③各種接着剤による CFRP ストランドシートの付着試験および曲げ試験による性能評価

- (4) 廃タイヤなど、コンクリート材料への有効利用の究明

ゴムチップを混和したコンクリートの各種強度試験、電気泳動試験などによる塩化物イオン浸透抵抗性試験、磨り減り試験による磨耗抵抗性試験および凍結融解試験などを実施する。

4. 研究成果

上記の各項目について得られた研究成果の概要をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 人工軽量骨材と鋼およびビニロン短繊維の混入による軽量2種コンクリート構造材の力学特性の究明とその設計法の確立

①鋼、ビニロン、ポリエステル各短繊維ともに、コンクリートの破壊じん性の向上には混入率1.2程度までは有用であるが、ポリエステルやビニロンは強度増加には限界がある。

②各強度およびじん性の増加には、鋼繊維の混入がもっとも効果的であることが確認されるとともに、繊維混入率による強度評価式が提示された。

③軽量2種コンクリートRC版の鋼繊維混入率をパラメータとした精度良い押し抜きせん断耐力式が構築できた。

- (2) ガラス繊維引抜き成形補強材(GFRP)接合部の力学および耐久性能の究明

①GFRP補強はり部材の曲げ・せん断試験での破壊パターンが解明できた。そして、破壊に至るまでの応力、変形挙動は弾性はり理論でシミュレートできるとともに、破壊は層間剥離によることが確認できた。

②GFRPの材料的利点を活かした橋梁伸縮継手への適用を想定した、一連の実験的検討を行い、耐荷性能および磨り減り性能が十分保有していることを検証した。

③2年間の暴露試験による耐久性能を検証した。なおさらに継続の必要がある。

- (3) 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のグリッドなど、各種補強材を用いたコンクリート補強工法への適用技術の構築

①せん断破壊先行型のRCはりを作製し、既設コンクリートの表面にCFRPグリッドを配置し、PCMにて吹付けを施し載荷試験を実施した。図-1より、CFRPグリッドによりウェブおよびハンチを補強した試験体のせん断耐力は、無補強のものに比べ向上し、設計値および解析値と同等であった。

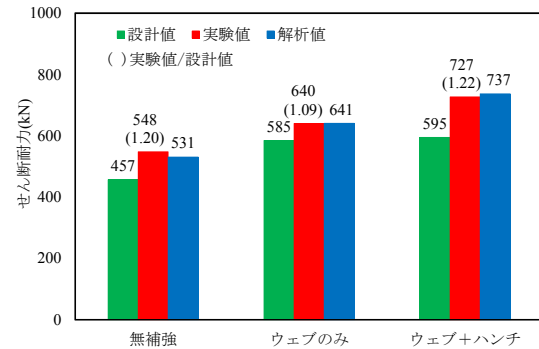


図-1 せん断耐力の比較 (シリーズ A)

また、ウェブおよびハンチを補強領域とした面外定着は必要であった。

②補強筋とPCMとの付着特性に着目して、CFRPグリッド(CR-5)を用いて付着強度試験を実施した。その結果、実際のグリッドに発生するひずみを適切に評価できること、CFRPグリッドの断面積が小さい方が変形への追従性が良いことがわかった。

③図-2より、全てのタイプで1格点目、2格点目と順番にひずみ値が減少し、格点数毎にCFRPグリッドに引張力が伝達していることが確認できる。縦筋を有する試験体においても、格子筋間隔が大きくなるにつれて分担率も増大する傾向となることが確認された。

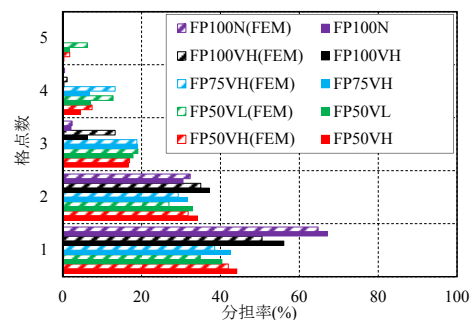


図-2 終局荷重作用時の分担率

- (4) 廃タイヤなど、コンクリートへの有効利用の究明

廃棄ゴムタイヤから製造されるゴムチップをコンクリート用材料として用い、強度を含む物理的特性、すり減り抵抗性、塩化物イオン浸透抵抗性、凍結融解抵抗性などの耐久性を実験的に検討した。

①ゴムチップを混入したコンクリートの基礎的性状に関する既往の研究を

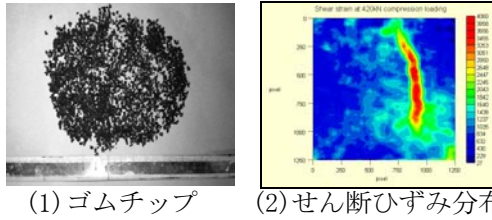


図-3 ゴムチップを混和したコンクリート

収集整理した結果，廃棄ゴムの利用に際しては，数 mm 程度のチップ状が最も利用しやすいこと，かつ細骨材の一部代替として困難なく利用できることがわかった。

②図-3(1)に示すような自動車用タイヤをリサイクルしたゴムチップの有効利用として，セメントモルタルに使用した場合の強度特性ならびに擦減り抵抗性について検討した。ゴムチップ混入時と比較して低強度となる要因について，図-3(2)DICMの結果に基づき考察した。また，同考察より，ゴムチップ混入時における材料特性の評価方法について提案した。

③縮強度，曲げ強度，引張強度を調べた結果，ゴムチップ混合率 10%に対して，水セメント比 0.35，シリカフェーム混合率 10%が最適使用率であることがわかった。

④塩化物イオン浸透抵抗性を，電気泳動試験および塩水浸せき試験から求めた結果，塩化物イオン拡散係数は，水結合材比が小さいほど小さくなること，シリカフェームを混入することで大きく低減されることを示し，さらに，ゴムチップの混入によっても大きく低減されることを明らかにした。

⑤結融解抵抗性に及ぼすゴムチップ混入の効果を調べた結果，いずれの試験体においても，強度の低下，弾性係数の低下などの物理的性質の劣化が認められなかったことから，ゴムチップの混入による凍結融解抵抗性の低下はないことを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 21 件)

1. 郭瑞, 山口浩平, 日野伸一, 宮野暢紘: ハンチを補強領域とした CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 61A, pp. 725-733, 2015 年 4 月, 8 頁
2. 山口浩平, 郭瑞, 日野伸一, 宮野暢紘:

PCM 吹き付け工法による CFRP グリッドを用いたハンチを有する RC はりのせん断補強および補強部界面の付着特性, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 36, No. 2, pp. 1261-1266, 2014 年 7 月, 6 頁

3. Rifadli BAHSUAN, Kohei YAMAGUCHI, Shinichi HINO: BONDING PROPERTIES OF CFRP STRAND SHEET AND CONCRETE WITH VARIOUS TYPES OF ADHESIVE, Proc. of the 6th International Conference of Asian Concrete Federation, 査読有, pp. 750-757, 2014 年 8 月, 8 頁
4. Jisun Choi, Goangseup Zi, Shinichi Hino, Kohei Yamaguchi, Soye Kim: Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete. Construction and Building Materials, 査読有, 69 (2014): 381-389. (2014 年 8 月, 9 頁)
5. Nurazuwa M. D. Noor, Daisuke YAMAMOTO, Hidenori HAMADA, Yasutaka SAGAWA: Strength Characteristics and Effective Chloride Diffusion Coefficient of Rubberized Concrete, Proc. of the Japan Concrete Institute (JCI) Annual Conference, 査読有, Vol. 36, 2014 年.
6. 山口浩平, 久保圭吾, 日野伸一, 今村壮宏, 芦塚憲一郎, 福永靖雄: 円孔を有する GFRP 板の引張耐荷挙動および GFRP 孔あきジベルの引抜き耐荷挙動, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 59A, pp. 949-956, 2013 年 4 月, 8 頁
7. Nurazuwa M, 山本大介, 合田寛基, 濱田秀則, 佐川康貴: Strength and Surface Abrasion resistance of Crumb Rubber Mixed Mortar, 土木構造・材料論文集, 査読有, Vol. 29, 2013 年

〔学会発表〕(計 38 件)

1. 郭瑞, 山口浩平, 日野伸一: PCM 吹き付け工法による CFRP グリッドを用いた RC はりのせん断補強効果および補強部界面の付着特性, 平成 26 年度全国大会 第 69 回年次学術講演会, 2014 年 09 月 12 日, 大阪大学豊中キャンパス
2. 宅島大貴, 日野伸一, 山口浩平, 久保圭吾: GFRP を用いた橋梁伸縮装置の止水部の静的耐荷性能および疲労耐久性, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, 2014 年 03 月 08 日, 福岡大学
3. 崔智宣, 山口浩平, 日野伸一, 柴田博之: 鋼繊維補強軽量 2 種コンクリート RC はりのせん断耐力評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013 年 09 月 04 日, 日本大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日野 伸一 (HINO, Shinichi)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：00136532

(2) 研究分担者

合田 寛基 (GOUDA, Hiroki)
九州工業大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：20346860

園田 佳巨 (SONODA, Yoshimi)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：40304737

山口 浩平 (YAMAGUCHI, Kouhei)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：60336013

濱田 秀則 (HAMADA, Hidenori)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：70344314