

令和 4 年 4 月 18 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04430

研究課題名(和文) ポリプロピレン繊維補強コンクリートによるRC建物の地震応答変位低減手法の開発

研究課題名(英文) Development of seismic response reduction method for RC buildings using polypropylene fiber reinforced concrete

研究代表者

佐藤 裕一 (Sato, Yuichi)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：20293889

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：鉄筋コンクリートの乾燥収縮ひび割れが中高層建物の地震応答に及ぼす影響を検証し、その対策としてのポリプロピレン繊維補強の効果を定量化した。衝撃載荷実験および非線形有限要素解析により、普通コンクリート耐震壁に比べ、ポリプロピレン繊維補強コンクリート耐震壁の衝撃載荷後の固有周期増加は13%抑制されることが判明した。また、同じ入力エネルギーであっても、衝突速度が速いほど抑制率は大きくなった。そして解析的検証で構築した材料構成モデルを、高層RC建造物の全体有限要素モデルに適用した。静的載荷による保有水平耐力解析および地震波入力による時刻歴応答解析を実施し、繊維補強の効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

繊維補強コンクリートは建築構造物の性能を飛躍的に向上させることが期待されながら、その利用は乾燥収縮対策や火災時爆裂防止対策の利用が主体であり、構造性能向上を主眼とした利用は極めて限られているのが現状である。本研究は、これまで見落とされてきた乾燥収縮ひび割れによる地震時応答変位の増大への対策として、繊維補強コンクリートの潜在能力を最大限に引き出す試みである。

研究成果の概要(英文)：The influence of drying shrinkage cracks of reinforced concrete on the seismic response is examined, and the effectiveness of the polypropylene fiber reinforcement as a counter-measure is quantified. By conducting drop-weight tests and nonlinear finite element analyses, elongation of the natural period of the polypropylene fiber reinforced seismic resistant wall after the collision was reduced by 13% comparing to those made of ordinary concretes. It is also shown that the period reduction becomes significant as the drop velocity increases when the input energy is equal. The material constitutive models developed in the above investigation are then applied to the entire model of high/medium-rise RC buildings. Static analyses of horizontal load bearing capacity and dynamic time-history analyses of seismic vibrations are conducted and the effectiveness of the fiber reinforcement is demonstrated.

研究分野：鉄筋コンクリート工学

キーワード：鉄筋コンクリート 耐震壁 ポリプロピレン繊維補強コンクリート 乾燥収縮 ひび割れ 拘束 衝突 有限要素解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造(RC)建物の乾燥収縮ひび割れ対策は長年の課題であり、美観対策のひび割れ防止・誘導手法の開発や、鉄筋発錆防止対策などを主眼に行われてきたが、近年乾燥収縮ひび割れが建物の保有水平体力や振動特性に与える影響にも関心が集まりつつある。乾燥収縮ひび割れがRC建物の剛性を低下させ、固有周期を伸ばす可能性は漠然と感じられていたものの、耐震性能への影響はほとんどないと信じられてきた。しかしながら21世紀以降の数値解析技術の発達により可能となった建物全体の有限要素解析の結果から、乾燥収縮ひび割れといえどもRC建物の耐震性能に無視できない影響を及ぼす可能性が指摘されるようになった。

乾燥収縮ひび割れの影響評価の一例として、申請者による21層RC建物の地震応答解析(図-1)では建物頂部応答変位に24%の増加が見られている。これらの評価を背景に、申請者は乾燥収縮ひび割れが中高層RC建物の地震時挙動に及ぼす影響について強い危機意識を持つに至った。応答変位抑制のための部材断面の増大や補剛部材の追加は使用性・経済性の低下を招く。架構構成を変えずに乾燥収縮ひび割れを抑制し応答変位を低減するには繊維補強コンクリート(FRC)の適用が有効である。FRCの適用により上記の21層建物の応答変位増大分をほぼ打ち消すことができることを確認している。FRCはコンクリート系構造物の性能を飛躍的に向上させることが期待されながら、建築分野での利用は乾燥収縮対策や火災時爆裂防止対策の利用が主体であり、構造性能向上を主眼とした利用は極めて限られているのが現状である。それは繊維混入による調合・打設時の工数増への懸念もあるが、何よりもFRCの優れた性能が適切に評価されていないことが大きな要因である。

そこで申請者は既に火災時爆裂防止として実績のあるポリプロピレン繊維(図-2)に着目し、通常より体積比をやや増加させることにより、施工性にほとんど支障なく構造性能を向上できる可能性を確認した。

これまでに見落とされてきた乾燥収縮ひび割れによる地震時応答変位の増大への懸念、そして潜在能力が眠らされているFRCへの再挑戦が申請者の学術的「問い」の根本にある。

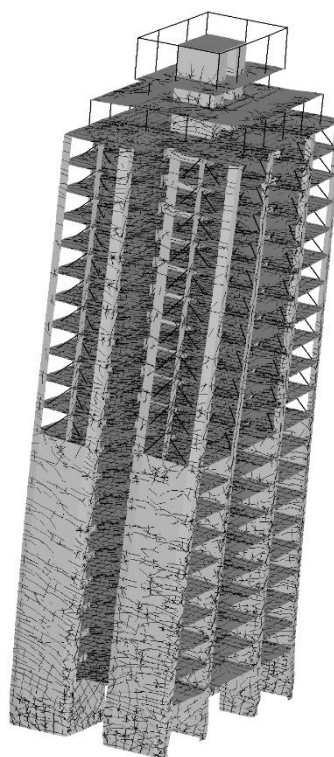


図-1 21層建物の地震応答解析例：乾燥収縮ひび割れにより24%の変位増大

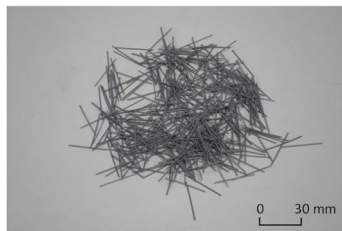


図-2 ポリプロピレン繊維

2. 研究の目的

鉄筋コンクリート(RC)の乾燥収縮ひび割れが中高層RC建物の地震応答変位に及ぼす影響を検証し、その対策としてのポリプロピレン繊維補強の効果を定量化する。研究は解析的手法と実験的手法の併用により、地震時応答変位評価の妥当性を検証する。そして変位抑制手法としてポリプロピレン繊維補強コンクリート(PPFRC)の導入を提案する。繊維補強は乾燥収縮ひび割れ抑制に有効であるが、コスト増や工数増が課題であった。そこで火災時爆裂防止や乾燥収縮抑制策として実績のあるポリプロピレン繊維の使用を拡張して変位抑制に活用する手法を提案する。

3. 研究の方法

中高層鉄筋コンクリート建物の地震応答解析を実施すると、局部的には5/s程度の大きなひずみ速度が耐震壁に生じる。このひずみ速度を再現しつつ、収縮ひび割れによる応答増大の抑制を図ることを目的として、図-3に示す10体の耐震壁の衝撃載荷実験を実施するとともに、その挙動を図-4に示す非線形有限要素法により再現する。

これらの実験と解析に基づいてポリプロピレン繊維コンクリートの材料構成測を構築し、中高層RC建物の地震応答解析に適用する。そしてその応答特性、固有周期変化の特徴に基づき、繊維補強の効果を定量化する。

研究の流れを図-5に示す。

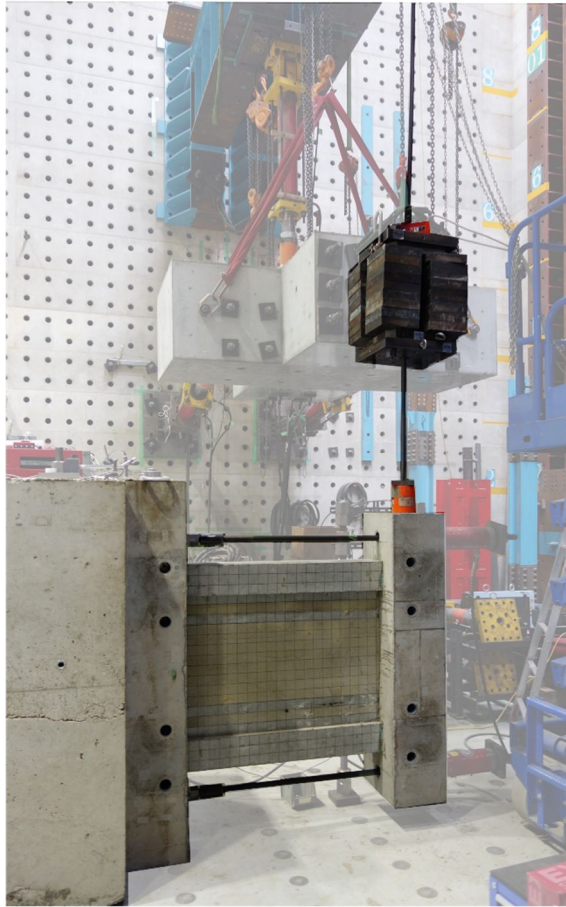


図-3 耐震壁衝撃実験装置

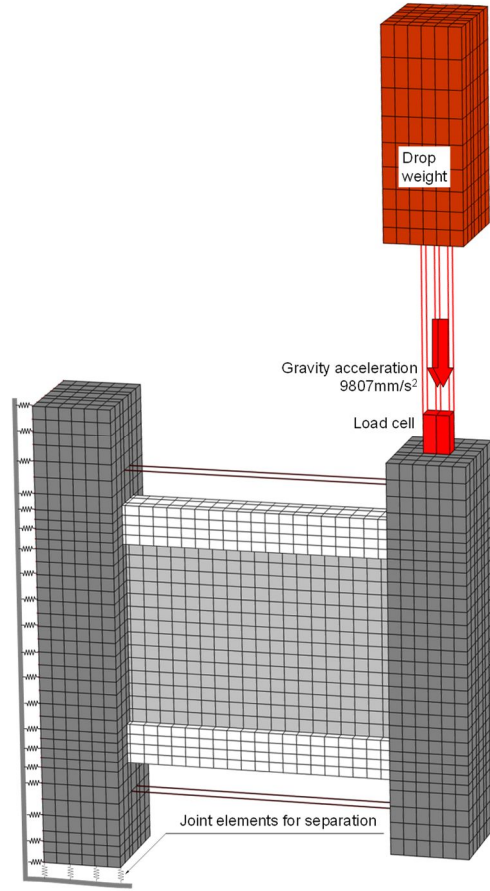


図-4 衝撃実験解析モデル

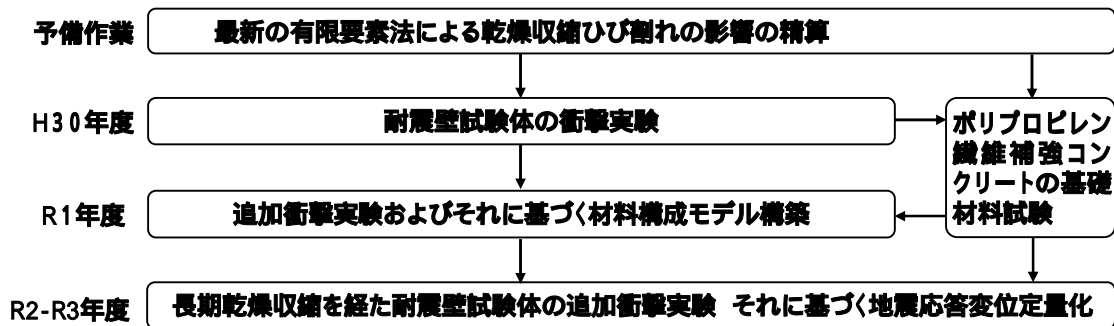


図-5 研究の流れ

4. 研究成果

(1) 衝撃载荷実験および非線形有限要素解析により、普通コンクリート耐震壁に比べ、ポリプロピレン繊維補強コンクリート耐震壁の衝撃载荷後の固有周期増加は13%抑制されることが判明した。これは図-6に示す衝突後の自由振動の部材各スペクトルの比較において端的に現れており、赤線で示す繊維補強壁のピーク周期が、黒線の普通コンクリートのそれよりも小さくなっていることが分かる。定性的には従来から予想されていた傾向であったが、本研究によりその減少率を定量化することに成功した。

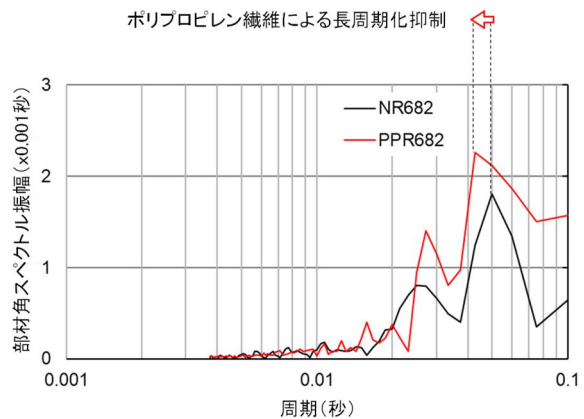


図-6 ポリプロピレン繊維による長周期化抑制

(2) 固有周期増加の抑制は構造物剛性低下が抑制されていることを意味する。ひび割れ量のような視覚的情報のみならず、振動特性からも、繊維による損傷抑制効果が示されることとなった。

(3) 落錐質量および落下高さを変化させた実験から、固有周期増加抑制率は、同じ入力エネルギーであっても、衝突速度が速いほど大きな数値を示し、速度 2 倍で 1%の増加を確認した。

(4) 実験と解析の相互の結果の対応から、本研究で用いた繊維補強コンクリートの引張軟化モデルを含む材料構成モデルの妥当性を確認した。

(5) 本研究における解析のため二節点の接触判定後、両側に接続する 2 要素のうち、いずれか小さな剛性を自動的に接合要素の剛性として適用する処理を構築した。例えばロードセルと試験体間の要素であれば、試験体側のコンクリート要素の剛性が適用され、圧壊に応じた剛性低下が逐次反映される。この処理により、従来用いられてきたペナルティ法や、事前に定めた非線形剛性を用いる Hertz 則比べ、より簡易かつ合理的な解析が可能となった。

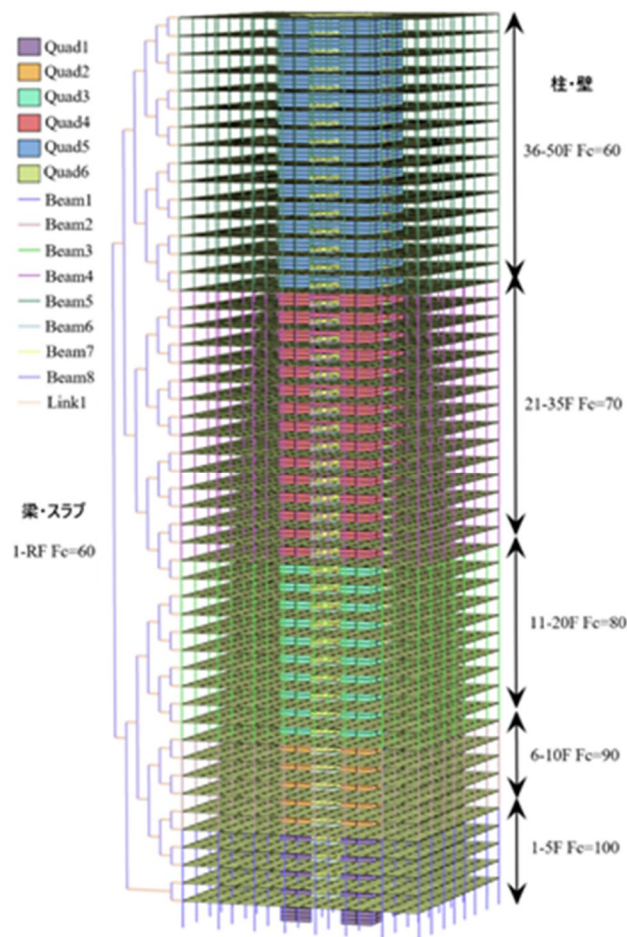


図-7 RC 造建物モデル例 (50 層)

(6) 最後に耐震壁の検証で構築した材料構成モデルを、高層 RC 構造物の全体有限要素モデル (図-7) に適用し、静的載荷による保有水平耐力解析および地震波入力による時刻歴応答解析を実施し、繊維補強の効果を確認した。その結果、地震動の卓越周期が建物の初期弾性固有周期より短いほど、繊維補強による応答変異抑制効果が高いことが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sato Yuichi, Naganuma Kazuhiro, Ko Hunebum, Kaneko Yoshio	4. 巻 18
2. 論文標題 Drop-Weight Impact Loading of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Wall after One-Year Drying Shrinkage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 794 ~ 807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.18.794	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kitazawa Keisuke, Sato Yuichi, Naganuma Kazuhiro, Kaneko Yoshio	4. 巻 95
2. 論文標題 Finite Element Analyses of Seismic Response of a 22-story RC Wall Building subjected to Drying Shrinkage Cracking and Application of SCRPPC	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 FIB BULLETIN	6. 最初と最後の頁 272 ~ 281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35789/fib.BULL.0095.Ch28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 SATO Yuichi, NAGANUMA Kazuhiro and KANEKO Yoshio
2. 発表標題 Drop weight test of polypropylene fiber reinforced concrete wall after one-year drying shrinkage
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 春名秀一郎, 佐藤裕一, 長沼一洋, 金子佳生
2. 発表標題 乾燥収縮を受けた耐震壁の低速衝撃載荷時挙動に関する研究
3. 学会等名 コンクリート工学大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤裕一, 豊田侑輔, 長沼一洋, 金子佳生
2. 発表標題 乾燥収縮ひずみが50層RC造建物の地震応答に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会全国大会(東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野謙史, 佐藤裕一, 春名秀一郎, 田嶋和樹, 長沼一洋, 金子佳生
2. 発表標題 乾燥収縮を受けた耐震壁への衝撃載荷時挙動に関する研究その1~3
3. 学会等名 日本建築学会大会2019年(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕一, 長沼一洋, 金子佳生
2. 発表標題 ポリプロピレン繊維補強コンクリート耐震壁の衝撃荷重時挙動に関する実験
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤裕一, 長沼一洋, 金子佳生, 宇野謙史, 春名秀一郎
2. 発表標題 乾燥収縮を受けた耐震壁への衝撃載荷時挙動に関する研究(その1~3)
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田侑輔, 佐藤裕一, 長沼一洋, 金子佳生
2. 発表標題 乾燥収縮ひずみが50層RC造建物の地震応答に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会近畿支部研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長沼 一洋 (Naganuma Kazuhiro) (50755048)	日本大学・理工学部・教授 (32665)	
研究分担者	金子 佳生 (Kaneko Yoshio) (60312617)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------