

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04770

研究課題名(和文)せん断挙動が卓越するプレキャストプレストレストコンクリート部材の耐力評価

研究課題名(英文)Capacity Evaluation of Shear-dominant Precast Prestressed Concrete Members

研究代表者

谷 昌典 (Tani, Masanori)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50533973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、損傷制御型の構造システムの一つであるアンボンドプレキャストプレストレストコンクリート(アンボンドPCaPC)構造を対象に、せん断破壊型の柱試験体に対する構造実験を実施し、得られた実験データの分析およびせん断終局耐力評価を行った。試験体は4体で、帯筋強度、水平載荷方向および圧縮軸力の大きさを実験変数とし、特に検討事例が少ない高圧縮軸力下での実験を行った。アンボンドPCaPC柱部材の高圧縮軸力下でのせん断破壊性状を明らかにするとともに、実建築物への適用に必要なせん断終局耐力評価法に関する知見を収集した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現状ではアンボンドPCaPC柱部材の実験事例は非常に少なく、本研究で得られた実験データや構造性能に関する知見は貴重であり、これらが規準や指針の改訂に反映されることで、広く一般に公開され、構造設計の場において活用される。アンボンドPCaPC構造は地震後に残留する変形や損傷を抑制することが可能であり、災害時の拠点となる重要建築物に広く適用されれば、地震後にもその機能を維持して活動できることから、災害に強い社会の構築に貢献できる。また、PC鋼材の緊張力を解除することで部材単位での交換やリユースも可能な構造形式であることから、省資源・脱炭素にも貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Precast prestressed concrete (PCaPC) structure with unbonded tendons is one of the damage-controlled structural systems. Four unbonded PCaPC column specimens which were designed to fail in shear were constructed and tested under a large axial compression load. Experimental parameters were hoop yield strength, lateral loading direction, and magnitude of axial compression load. Shear failure behavior of unbonded PCaPC column members under large axial compression load was clarified based on discussions on obtained experimental data. Information on evaluation methods for ultimate shear capacity which is necessary for the application to actual buildings was also obtained.

研究分野：建築構造

キーワード：プレストレストコンクリート プレキャストコンクリート アンボンド せん断終局耐力

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震では、災害時拠点となる庁舎等の重要建築物で構造部材や非構造部材に大きな損傷が発生し、継続使用が不可能となった事例が多数確認され^{1), 2)}、大地震時の構造安全性だけでなく、地震後の継続使用性の重要性も改めて問われる事態となった。これを機に、鉄筋コンクリート（以下、RC）壁を有効活用して剛性や耐力を確保することで、大地震時の架構の変形を抑制して損傷を低減させ、地震後の継続使用性を高める研究が盛んになっている^{例えぼ³⁾}。しかし、通常のRC造で損傷を補修不要なレベルに抑制するには、変形を小さいレベルに抑える必要があることが示唆されている。

一方、プレキャスト部材をプレストレス力により圧着することで架構を構築するPCaPC構造は、損傷制御型の構造システムの一つとして以前より知られている。PCaPC構造は、プレストレス力により予めコンクリートに圧縮力を作用させることで、地震後の残留変形や残留ひび割れが小さくなり、大地震に対して主要構造部材の損傷をごく僅かなレベルに抑えられることから、地震後の継続使用性を議論する上では非常に有利な構造形式である。また、PC鋼材をアンボンドとすることで、部材単位での交換やリユースも可能となる。PCaPC構造では、純フレーム形式の高層建物の下層階柱で、せん断挙動が卓越する短スパン部材となることが多く、せん断破壊を防止するための保証設計が極めて重要となる。PC部材のせん断終局耐力評価式は、PC造技術基準解説⁴⁾や日本建築学会・PC性能評価指針（案）⁵⁾に示されているが、接合面を貫通する鋼材が部材の深い位置に配置されるPC鋼材のみであるPCaPC部材では、設計で慣用されている評価式で考慮されるトラス機構の形成状況が、一体打ちPC部材とは大きく異なると考えられているものの、現状では知見が十分ではなく、せん断終局耐力評価式における記号の取り扱いが統一されていない。アンボンドPCaPC柱は既往の研究事例が極めて少なく、更なる実験データの充実およびせん断終局耐力評価法の検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、損傷制御型の構造システムの一つであるアンボンドPCaPC構造を対象に、柱部材の構造性能を明らかにし、実建築物に適用するための設計法を確立するために必要な知見を収集することを目的として、柱部材試験体を作製して構造実験を実施し、得られた実験データの分析およびせん断終局耐力評価を行う。現状で実験例が存在しない高圧縮軸力下および主軸45度方向水平載荷でのせん断挙動を検討対象とする点が大きな特徴である。

3. 研究の方法

本研究は、せん断破壊が先行するアンボンドPCaPC柱試験体の構造実験を実施し、高圧縮軸力下でのせん断破壊性状を明らかにするとともに、実建築物への適用に必要なせん断終局耐力評価法に関する知見を収集する。

本実験で使用した試験体はアンボンドPCaPC柱試験体で、帯筋強度、水平載荷方向（主軸方向および主軸45度方向）および圧縮軸力の大きさを実験変数とする4体である。試験体一覧および試験体図を表1および図1にそれぞれ示す。柱断面は350mm×350mm、試験区間長さ（モルタル目地厚さ含む）は525mmで、全試験体で共通である。コンクリートには最大骨材粒径15mmのレディーミクストコンクリートを使用した。組立筋は4-D10（SD295）、帯筋は□-D6（SD295）@90または□-S6（KSS785）@90で、帯筋比は0.20%である。PC鋼材は4-φ17とした。シースには#1035 ワインディングシースを使用した。柱、スタブをそれぞれ別に打設し、厚さ15mmのモルタル目地を介して圧着接合した。

表1 試験体一覧

試験体名	A-N02-C40	A-H02-C40	A-N02-C25	A-H02-C40-D
柱断面 b×D (mm)	350×350			
せん断スパン (mm)	262.5			
組立筋	4-D10 (SD295)			
帯筋	2-D6 (SD295)	2-S6 (KSS785)	2-D6 (SD295)	2-S6 (KSS785)
PC鋼材	4-φ17 (C種1号)			
有効緊張力 (kN) (軸力0時)	658	652	646	636
軸力 (kN)	1421	1484	733	1748
載荷方向	主軸方向			主軸45度方向
コンクリート圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	42.6	43.9	45.7	49.3

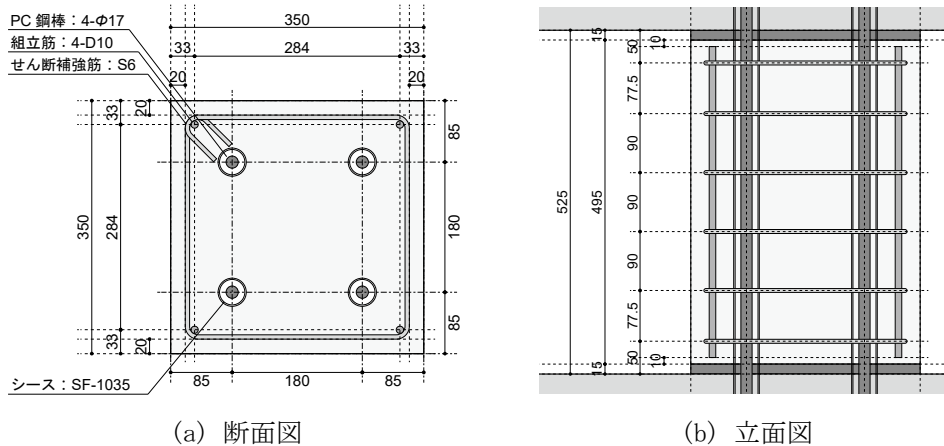


図1 試験体図 (単位: mm)

載荷装置を図2に示す。鉛直ジャッキにより所定の圧縮軸力(ジャッキ, 治具等の自重を考慮)を作用させた状態で, 水平ジャッキにより試験体に水平力を加力した。水平加力中は, 逆対称曲げ状態を模擬して, 上下スタブが平行を維持するように鉛直ジャッキの荷重を制御した。試験体に作用させた軸力は, 目標プレストレス(PC鋼材の規格降伏耐力の0.68倍)との合計が $0.25bDf'$ (A-N02-C25) または $0.40bDf'$ (A-N02-C25以外) となるように設定した。水平加力は図中右向きを正方向と定義し, 変形角制御による静的正負交番繰り返し漸増載荷とした。制御に用いた変形角Rは, 上下スタブの相対水平変位を試験区間内法高さ525mmで除した値とし, 変形角 $R = \pm 1/3200\text{rad}$ を1回, $\pm 1/1600\text{rad}$, $\pm 1/800\text{rad}$, $\pm 1/400\text{rad}$, $\pm 1/200\text{rad}$, $\pm 1/133\text{rad}$ を各2回繰り返した。

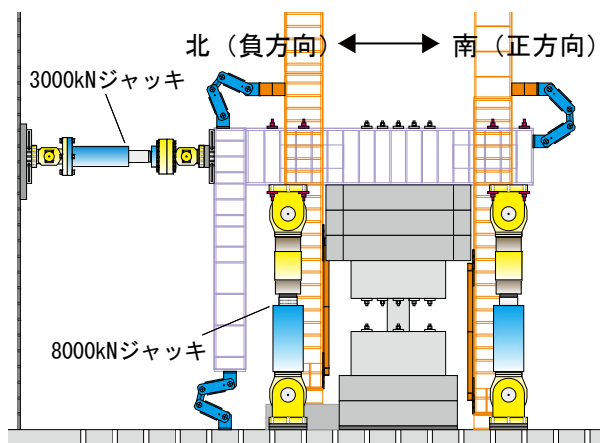


図2 載荷装置図

4. 研究成果

各試験体の水平荷重-変形角関係および最終破壊性状を図3および写真1にそれぞれ示す。主軸方向に載荷した3体については, 対角線状のせん断ひび割れや細かく分散した斜めひび割れが発生し, その後, ひび割れ面での大きなずれを伴ってせん断破壊に至った。帯筋に普通強度鉄筋を使用したA-N02-C40およびA-N02-C25では, 帯筋が早期に引張降伏して, 1/200radサイクル正側1回目の途中で破壊に至った。一方で, 高強度帯筋を使用したA-H02-C40では, 帯筋引張降伏と破壊が1/133radサイクルに発生し, 軸力およびせん断力を保持できる変形角が帯筋強度の向上により増加した。主軸45度方向に水平力を載荷したA-H02-C40-Dでは, A-H02-C40と同様にせん断ひび割れが分散して発生したものの, 1/133radサイクル正側1回目途中の破壊時には, 写真に示すように正面や背面の角部付近で角度の立ったひび割れが大きく開き, 軸力やせん断力を保持できなくなってせん断破壊に至った。

表2に実験における最大せん断力とトラス機構とアーチ機構の重ね合わせによるせん断終局耐力計算値^{4), 5)}を示す。文献4)ではPC鋼材とコンクリート間の付着が無い場合にはトラス機構を無視することとしており, 文献5)ではせん断補強筋比 p_w を半分にしてトラス機構を考慮する評価法が示されている。耐力計算にはコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を用いた。なお, 主軸45度方向に載荷したA-H02-C40-Dの計算値は, 主軸方向に載荷した場合の値である。A-N02-C40とA-H02-C40の実験値/計算値では, アーチ機構を考慮しない場合に正負平均で0.1程度の差が生じたが, トラス機構を考慮することで両者の差が半分以下となり, 帯筋降伏強度の向上が最大耐力に寄与することが伺える。A-N02-C40とA-N02-C25の比較では, A-N02-C25の実験値/計算値の方が全体的に小さな値を取り, 1を下回る場合もあることから, 評価式における軸力項

の検討が必要であると考えられる。A-H02-C40-D と A-H02-C40 の実験値／計算値を比較すると、A-H02-C40-D の方が若干小さいものの、主軸 45 度方向载荷の場合でも主軸方向载荷の場合と同程度の余裕度で評価できることが分かった。

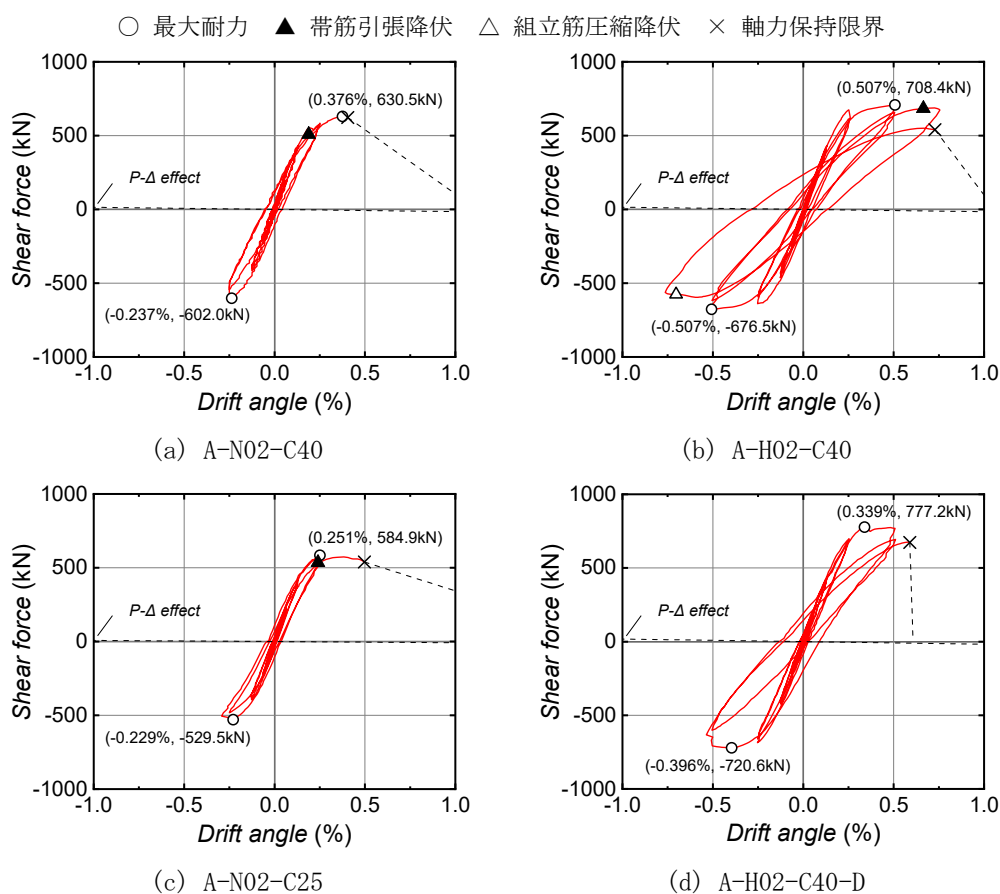


図 3 水平荷重－変形角関係

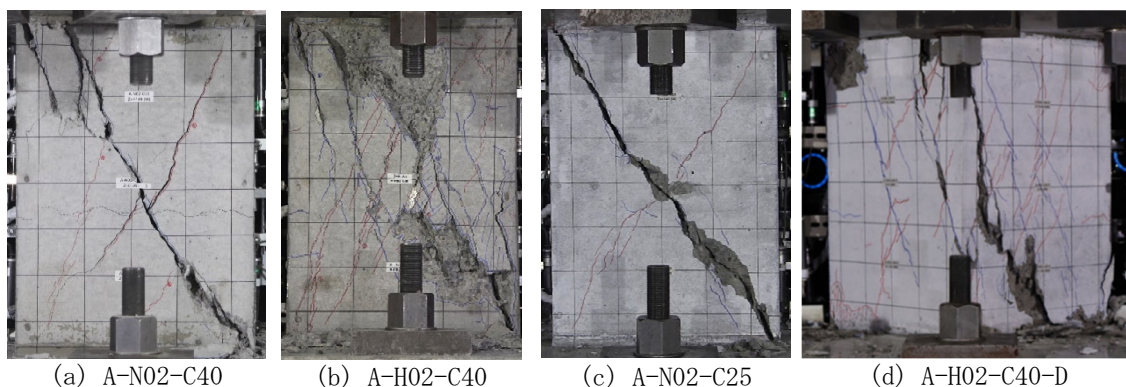


写真 1 最終破壊性状

表 2 せん断終局耐力評価

試験体名	実験値 (kN)	計算値 (kN)			
		アーチのみ ⁴⁾	トラス考慮 ⁵⁾		
A-N02-C40	正		513.6	(1.23)	537.1
	負	(1.17)		(1.12)	
A-H02-C40	正	529.2	(1.34)	584.0	(1.21)
	負		(1.28)		(1.16)
A-N02-C25	正	550.9	(1.06)	574.4	(1.02)
	負		(0.96)		(0.92)
A-H02-C40-D	正	594.3	(1.31)	649.1	(1.20)
	負		(1.21)		(1.11)

<引用文献>

- 1) 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国総研資料第 674 号，建築研究資料第 136 号，2012.3
- 2) 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成 28 年（2016 年）熊本地震建築物被害調査報告（速報），国総研資料第 929 号，建築研究資料第 173 号，2016.9
- 3) 福山洋ほか：損傷低減のために袖壁を活用した実大 5 層鉄筋コンクリート造建築物の静的載荷実験（その 1～13），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），C-2，pp.361-386，2015.9
- 4) 国土技術政策総合研究所，建築研究所監修：2009 年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例，2009
- 5) 日本建築学会：プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説，2015

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 谷昌典
2. 発表標題 高圧縮軸力を受けるアンボンドPCaPC柱部材のせん断終局耐力に関する実験的研究（その1 背景および実験概要）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 給田ありさ
2. 発表標題 高圧縮軸力を受けるアンボンドPCaPC柱部材のせん断終局耐力に関する実験的研究（その2 実験結果）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大槻大和
2. 発表標題 高圧縮軸力を受けるアンボンドPCaPC柱部材のせん断終局耐力に関する実験的研究（その3 せん断終局耐力評価）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大槻大和
2. 発表標題 高圧縮軸力を受けるアンボンドPCaPC柱部材のせん断終局耐力に載荷方向が及ぼす影響（その1 背景および実験概要・損傷状況）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西川真生
2. 発表標題 高圧縮軸力を受けるアンボンドPCaPC柱部材のせん断終局耐力に載荷方向が及ぼす影響（その2 せん断力 - 変形角関係と耐力評価）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023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
研究協力者	山田 諒 (Yamada Ryo)		

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
---------	---------