

5. 円環断面に支持されたコンクリートの圧縮実験

Compression Experiment of Concrete Supported by an Annular Cross-Section

林 晴佳* 土田 堯章* 竹内健一** 上田英明*

—概要—

杭頭免震構造研究会で開発した拡頭杭免震構法は、拡頭杭の杭頭部に直接免震部材を設置する構造である。拡頭杭頭部を下部の基礎梁より薄い扁平なつなぎ梁で連結することで、基礎免震構造における二重基礎梁を合理化し、掘削土量および部材量の削減が可能となり、経済的なメリットが大きい。

拡頭杭免震構法は2016年に日本 ERI より構造性能評価(ERI-K15015)を取得し、構造性能評価では、場所打ち杭、既製杭のどちらも適用可能としている。

杭頭免震構造研究会は、拡頭杭免震構造を既製杭に適用する合理的な接合方法として、外殻鋼管付コンクリート杭（以下、SC 杭）の杭頭部に鋼管だけの部分（以下、素管）を作り、そこに一体性を強固にするためのアンカーボルト等を設置したのち、コンクリート（以下、中詰めコンクリート）を充填する構法を考案した。

この場合、免震部材に加わる軸力は、素管部分に充填した中詰めコンクリートを介し、SC 杭へと伝達される。しかし、この中詰めコンクリートのように円環断面に支持されるコンクリートの圧縮強度や破壊性状に関する知見は少ない。そこで、中詰めコンクリート部分を模擬した試験体を製作し、コンクリート強度や中詰めコンクリート高さなどが最大耐力に与える影響を把握することを目的として圧縮試験を実施した*。

—技術的な特長—

本実験の試験体は、SC 杭径 1500mm を想定した杭頭接合部の中詰めコンクリート部分を模した 1/5 縮小モデルである（図 1）。圧縮試験は、試験体上面に積層ゴムを模した円形の支圧板、試験体底面に SC 杭のコンクリート部を模した円環の支承板を設置し行った（写真 1）。その結果、最大耐力および破壊性状に及ぼすコンクリート強度や中詰めコンクリート高さの影響ならびに鋼管拘束効果に関する知見を得た。

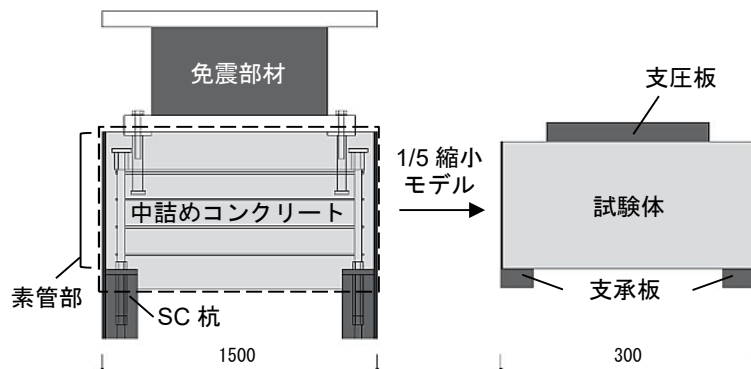


図 1 試験体



写真 1 実験状況

*本研究は、杭頭免震構造研究会（6社：青木あすなろ建設、東亜建設工業、安藤ハザマ、西松建設、長谷工コーポレーション、三谷セキサン）にて、日本大学理工学部海洋建築工学科 北嶋圭二 教授のご指導の下で実施した研究成果の一部である。本報の内容は、日本建築学会大会学術講演梗概集(2021.07.pp.523-524)で発表したものに加筆・修正したものである。

円環断面に支持されたコンクリートの圧縮実験 Compression Experiment of Concrete Supported by an Annular Cross-Section

○林 晴佳* 土田 堯章* 竹内健一** 上田英明*
Haruka HAYASHI Takaaki TSUCHIDA Kenichi TAKEUCHI Hideaki AGETA

ABSTRACT We devised a connection method that applies the expansion head-pile seismic isolation system, which is expected to have economic than the basic seismic isolation structure, to precast piles. The concrete at this pile-head joint is supported by the annular cross-section of the SC pile, and there is little knowledge about the compressive strength and destructive behavior of concrete in this shape. Therefore, we conducted an axial compression test to understand the effects of concrete strength and the concrete at this pile-head joint height on the maximum strength. As a result, we obtained expertise about the influence of concrete strength and concrete at this pile-head joint height on the maximum strength and destructive behavior.

Keywords : 杭頭免震, 既製杭, 杭頭接合部, コンクリート, 圧縮強度
Pile-head Seismic Isolation, Precast Pile, Pile-head Joint, Concrete, Compressive Strength

1. はじめに

杭頭部に直接免震装置を設置する杭頭免震構造は、基礎免震構造における二重基礎梁を合理化でき、経済的なメリットが大きい。筆者らは、この構造を既製杭に適用するため、下記①～③の手順で杭頭接合部を構築する方法を考案した。①外殻鋼管付コンクリート杭（以下、SC杭）の杭頭部に鋼管だけの部分（以下、素管）を作る。②そこに一体性を強固にするための鉄筋や、免震部材からSC杭に応力伝達するためのアンカーボルトを配する。③コンクリートを充填し免震部材を設置する。この場合、免震部材に加わる軸力は、素管部分に充填したコンクリート（以下、中詰めコンクリート）を介し、SC杭へ伝達される。

しかし、この中詰めコンクリートのように円環断面に支持されるコンクリートの圧縮強度や破壊性状に関する知見は少ない。

そこで、中詰めコンクリート部を模擬した試験体を製作し、コンクリート強度や中詰めコンクリート高さなどが最大耐力に与える影響を把握することを目的として、円環断面に支持されたコン

クリートの圧縮載荷試験を実施した。

2. 試験概要

2.1 試験体概要

試験体は、図1に示すようにSC杭径1500mmを想定した杭頭接合部の中詰めコンクリート部分を模した、1/5スケールの縮小モデルである。

試験体形状・寸法を図2に、試験パラメータを表1に、試験体コンクリート諸元および材料試験結果を表2に示す。いずれの試験Caseにおいても、試験体は直径D=300mmの円柱状とし、無筋コンクリートである。CaseBの鋼管は接合部の素管を模しており、材質はSS400、板厚は3.2mmである。鋼管とコンクリートが接する面にはグリ

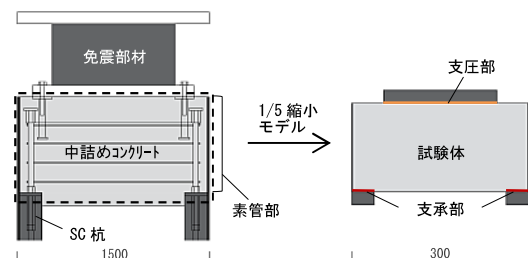


図1 試験体モデル概要

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室 **東京建築本店 設計部

※本報の内容は、日本建築学会大会学術講演会梗概集（2021.07.pp.523 -524）にて発表したものに加筆・修正したものである。

スを塗布し縁切りを行っている。試験パラメータは、中詰めコンクリート外殻円周部の鋼管の有無、支圧板の径 ϕ 、中詰めコンクリート強度 F_c および試験体高さ H とした。

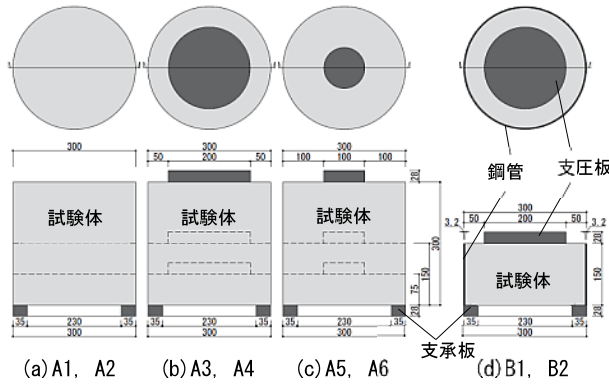


図2 試験体の概要

表1 試験パラメータ

試験 Case	試験体 No.	試験パラメータ			
		鋼管	支圧板の有無 (支圧板面積 A_1)	コンクリート強度 (F_c) (N/mm ²)	試験体高さ (H)
A	A1-1	無	無 (全面圧縮) (6728mm ²)	42	1D 300mm
	A1-2				D/2 150mm
	A1-3				D/4 75mm
	A2-1			24	1D 300mm
	A2-2				D/2 150mm
	A2-3				D/4 75mm
	A3-1		$\phi 200$ (31416mm ²)	42	1D 300mm
	A3-2				D/2 150mm
	A3-3				D/4 75mm
	A4-1			24	1D 300mm
	A4-2				D/2 150mm
	A4-3				D/4 75mm
	A5-1		$\phi 100$ (7854mm ²)	42	1D 300mm
	A5-2				D/2 150mm
	A5-3				D/4 75mm
A6-1	24	1D 300mm			
A6-2		D/2 150mm			
A6-3		D/4 75mm			
B	B1	有	$\phi 200$ (31416mm ²)	42	D/2 150mm
	B2			24	D/2 150mm

表2 試験体コンクリート諸元・材料試験結果

試験 Case	F_c (N/mm ²)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	材料試験結果	
					圧縮強度 σ_c (N/mm ²)	材齢 (日)
A	42	52	47.2	13	49.8	47
	24	75	47.7		29.1	46
B	42	50	45.9		42.3	33
	24	70	46.1		29.3	33

支圧板・支承板の写真を写真1に示す。円形の支圧板は積層ゴムを、円環の支承板はSC杭の遠心締固めによる超高強度コンクリートを模している。支圧板・支承板ともに材質はSS400である。なお、全試験体において支承板を試験体下部に設置し試験を行った。



写真1 支圧板・支承板

2.2 載荷方法

A1、A2 は試験体上面を全面圧縮、A3～A6、B1、B2 は支圧板に圧縮力を載荷し最大荷重に達するまで単調載荷を行った。載荷速度はコンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108) に則り $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2/\text{s}$ とした。試験状況を写真2に示す。

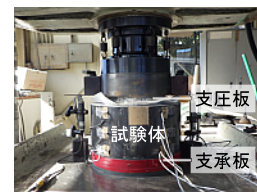


写真2 試験体圧縮状況

3. 試験結果

3.1 最大耐力

最大荷重 P と試験体高さ H の関係を図3に示す。支圧板を用いた A3～A6 では、試験体高さが高くなるにつれ最大荷重も増加する傾向を確認した。しかし、支圧径が支承内径より大きい全面圧縮の A1、A2 においては、試験体高さによる最大荷重の増減が他の試験体と比べ小さく、高さによる影響が小さい。

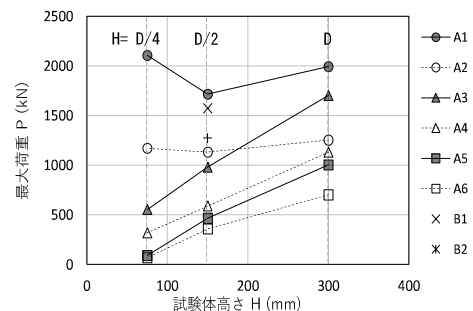


図3 最大荷重－高さ関係

3.2 面圧

最大荷重 P を支圧板面積 A₁ で除した面圧を表 3 に示す。Fc42、Fc24 とともに CaseA（鋼管無）の面圧はσ_B の 0.6 倍程度であったが、CaseB（鋼管有）の場合、Fc42 においては 1.2 倍、Fc24 においては 1.4 倍である。

表 3 最大荷重時の面圧

a) Fc42 (支圧板Φ200, H=150)				
試験 Case	試験体 No.	最大荷重 P (kN)	面圧 (P/A ₁) (N/mm ²)	面圧/σ _B
A	A3-2	982	31.2	0.6
B	B1	1572	50.0	1.2

b) Fc24 (支圧板Φ200, H=150)				
試験 Case	試験体 No.	最大荷重 P (kN)	面圧 (P/A ₁) (N/mm ²)	面圧/σ _B
A	A4-2	588	18.7	0.6
B	B2	1272	40.5	1.4

3.3 支圧強度

支圧強度比と支圧面積比の関係を図 4 に示す。支圧強度比は、最大耐力 P を支圧板面積 A₁ で除し、さらにコンクリート強度の影響を除くためコンクリート強度σ_Bで除した。プロットは試験体高さ毎に同じ記号とし、Fc24 は白抜きとしているが、CaseB（鋼管有）のみ別の記号でプロットした。図 4 には、プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説¹⁾（以下、PC 規準）の支圧強度式（式 (1)）ならびに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²⁾（以下、PC 指針）の支圧強度式（式 (2)）を使用した支圧強度比の推定値も示している。

$$F_N = \sigma_B \cdot \sqrt{A_C/A_1} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots\text{式 (1)}$$

$$F_n = 1.8 \cdot \sigma_B^{(0.8-\sigma_B/2000)} \cdot \sqrt{A_C/A_1} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \dots\text{式 (2)}$$

F_N・F_n : 支圧強度(N/mm²),
 σ_B : コンクリートの圧縮強度(N/mm²),
 A_C : 支承面積(mm²), A₁ : 支圧面積(mm²)

支圧強度比は、圧縮強度σ_Bが大きくなると低下する傾向であり、これは PC 指針²⁾に示されてい

る傾向と同様である。さらに、この傾向は支圧面積比が大きくなるほど顕著である。また、本試験の範囲内においては、PC 規準式よりも PC 指針式の計算値のほうが実験値を過大評価する割合が少ない結果となった。

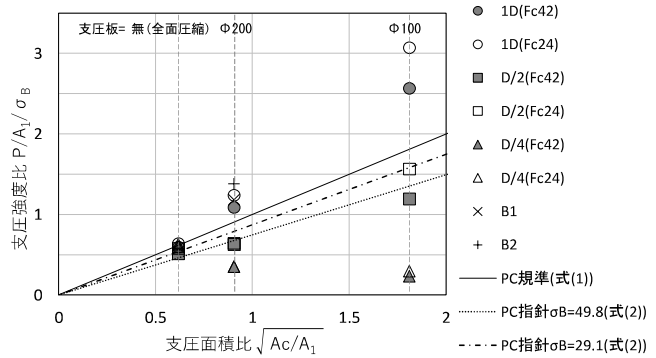


図 4 支圧強度比－支圧面積比

3.4 鋼管拘束効果

表 4 に、鋼管の有無による最大耐力の比較を示す。なお、CaseA（鋼管無）と CaseB（鋼管有）のコンクリート強度σ_Bは異なるため、表中の CaseA の P' は CaseB のσ_Bに合わせ、P にσ_Bの強度比を乗じ算出した。結果より、Fc24、Fc42 とともに約 2 倍最大荷重が上昇した。

また、CaseB の鋼管ひずみと荷重の関係を図 5 に示す。図中のプロットは、最大荷重時の各箇所のひずみを示している。ひずみはいずれの試験体においても CaseA の同じパラメータの最大耐力付近から鋼管の円周ひずみが生じ始め、最大耐力到達時のひずみは、高さ方向の中央が最も大きく、次いで下端、上端の順であった。

表 4 最大荷重時の面圧

a) Fc42 (支圧板Φ200, H=150)				
試験 Case	試験体 No.	σ _B (kN/mm ²)	平均最大荷重 P (kN)	補正後平均最大荷重 P' (kN)
A	A3-2	49.8	982	834
B	B1	42.3	1572	← 1.9 倍

b) Fc24 (支圧板Φ200, H=150)				
試験 Case	試験体 No.	σ _B (kN/mm ²)	平均最大荷重 P (kN)	補正後平均最大荷重 P' (kN)
A	A4-2	29.1	588	592
B	B2	29.3	1272	← 2.1 倍

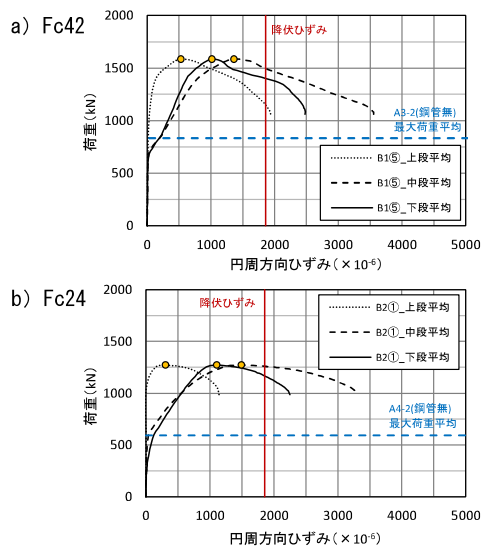


図5 荷重一平均円周方向ひずみ関係(抜粋)

3.5 破壊性状

最も多く見られた破壊状況を写真3に示す。これは支圧面外周と支承板内径を結ぶ破壊形状(せん断破壊)であり、A1、A2、A3、A4、A5-1、A6-1、A6-2においてこの破壊を確認した。

支圧板径φ100、 $H=D/4$ であるA5-3とA6-3および $H=D/2$ のA5-2は試験体底面に数本のひび割れが発生し、異なる破壊形状(曲げ破壊)を確認した。このことから、試験体高さが低く、支圧径が小さいと曲げ破壊する傾向であると考えられる。なお、鋼管有のB1、B2は押し抜きのせん断破壊形状であった。



(a) 上面 (b) 底面
写真3 試験体の破壊状況 (A3-1)

4. まとめ

本研究では、円環断面に支持されたコンクリートの圧縮載荷試験を行った。本試験で対象としたプロポーシヨンの範囲内において以下の知見を得た。

- (1) 最大耐力は、全面圧縮の場合は試験体高さの影響は小さいが、支圧板を用いた圧縮の場合は試験体高さが高いほど増加する。
- (2) 支圧強度比は、コンクリート強度が大きくなるほど低下し、支圧面積比が大きくなるほどコンクリート強度による支圧強度比の低下傾向は大きくなる。
- (3) 中詰めコンクリートは鋼管に拘束されることで、最大耐力が約2倍上昇した。
- (4) 破壊形状は試験体高さ、支圧板径、コンクリート強度によって異なる。概ねせん断破壊の形状を示したが、試験体高さが低く、支圧板径が小さいと曲げ破壊となる傾向である。

【謝辞】

本研究は、青木あすなろ建設、東亜建設工業、安藤ハザマ、西松建設、長谷工コーポレーション、三谷セキサンの6社共同研究による杭頭免震構造研究会の検討成果の一部を報告したものである。関係各位に謝意を表し、ここに記す。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、1998
- 2) 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