

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560585
 研究課題名（和文） サステナブル建築のための圧着型プレストレストコンクリート骨組に関する基礎研究
 研究課題名（英文） Study on Sustainable Buildings based on Pre-stressed Concrete Frames Assembled by Post-tensioning Method
 研究代表者
 中塚 侑（NAKATSUKA TADASHI）
 大阪工業大学・工学部・教授
 研究者番号：60107133

研究成果の概要： サステナブル建築の観点から見た現在の喫緊の課題である、①低強度鉄筋コンクリートに対する耐震補強工法、ならびに②プレキャストプレストレストコンクリート工法による高強度・長寿命建物において、不可欠な基本技術であるPC圧着工法に関する研究を行い、低強度～高強度コンクリートの支圧強度、圧着接合面における摩擦係数とそれに及ぼすコンクリート強度の影響を明確にすると同時に、せん断力伝達試験体接合面の破壊モードに及ぼす圧着力、シアスパン比、鋼材グラウトの有無の影響などを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：(1)サステナブル建築 (2)プレストレストコンクリート (3)圧着工法

(4)支圧強度 (5)せん断耐力 (6)摩擦係数 (7)グラウト (8)目地モルタル

1. 研究開始当初の背景

耐震改修のような補強・補修もふくめて、構造体を再利用・転用することは、レトロフィット、リノベーション、コンバージョン、リフォーム、リファインなどの用語とともに、建築をストックと捉える立場から近年積極的に行われてきている。さらに、近未来の地球の資源・環境を考えたとき、「ストックで

ありつつフローである建築」を実現することが不可欠と考えられる。この目標に対し、申請者らは、アンボンドPC圧着工法と新たに開発した剥離性目地を組み合わせた、プレストレストコンクリート(PC)骨組によるリユース建築物が可能であることを実証した。しかし、耐震補強、および部材リユースなどの課題に対する最も基礎的な技術である圧

着接合技術に不可欠な、コンクリートの支圧強度、圧着接合面のせん断強度・変形特性に関する知見は、散発的には見られるものの、系統的なものはほとんど無いのが現状である。

2. 研究の目的

背景に述べたように、これからのコンクリート構造に必要と考えられる圧着接合に関する基礎知見、具体的には、①圧着力を支える側のコンクリートの支圧強度、ならびに圧着接合面の応力-変形特性を、②一面せん断の要素試験および、③実際の接合部分をモデル化したせん断力伝達試験によって調べ、破壊モードの予測も含めた圧着接合設計法に関する考察を行う。

3. 研究の方法

(1) 支圧強度試験

低～高強度コンクリートの支圧強度を調べるため、コンクリート強度および支圧面積比($\sqrt{A_c/A_1}$; A_c はコンクリート上面の面積, A_1 は支圧板の面積)を変数とした実験、ならびに、シース穴径およびコンクリート強度を変数とした実験を、図1に示すような局部載荷試験法によって行った。

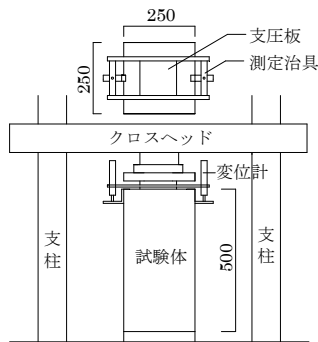


図1 局部載荷試験

(2) 一面せん断要素試験

圧着接合部のせん断基礎性能を調べるため、2つのコンクリートブロックを一本のP

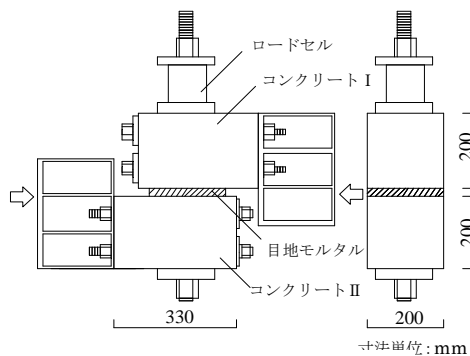


図2 一面せん断試験

C鋼材で圧着した、一面せん断要素試験を図2に示すような載荷方法で行った。取り上げた要因は、圧着面での平均応力、コンクリート強度、PC鋼材へのグラウトの有無である。

(3) せん断力伝達試験

既存建物の外側に耐震架構をスラブを介して圧着接合する工法における圧着部の力学性状を調べるため、図3に示すようなモデル試験体に水平力を載荷するせん断力伝達試験を行った。取り上げた実験変数は、既存建物部分のコンクリート強度、平均圧着応力、スラブ部分のアスペクト比、および圧着用PC鋼材へのグラウトの有無で、それら要因が試験体の荷重-変形関係および曲げ、せん断、ずれ、めり込みの各種変形が全変形に占める割合、さらには破壊性状などについて考察を行った。

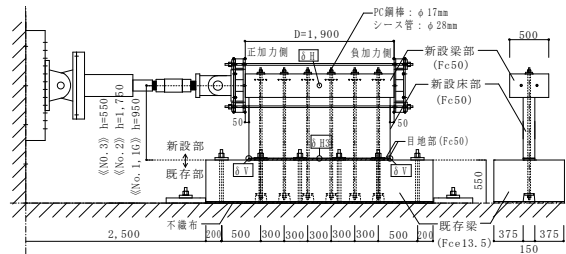


図3 せん断伝達試験

4. 研究成果

(1) 支圧強度試験

①支圧強度は、コンクリート強度が大きくなるに従って、現行指針による支圧強度推定値より小さくなる傾向が見られた。50N/mm²以上のコンクリートでは現行の許容応力度以下となり、高強度コンクリートに現行支圧強度式は適用できないと考えられる。

②コンクリートの引張強度に基づき、高強

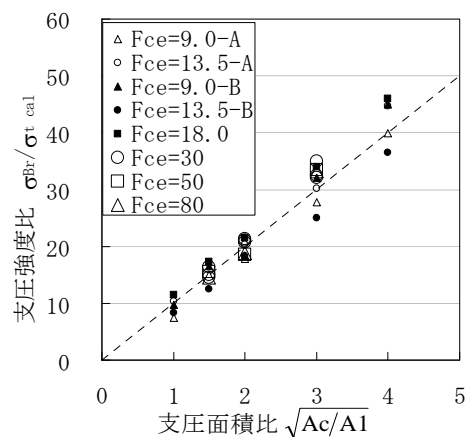


図4 提案支圧強度式の適合性

度コンクリートにも適用できる次の支圧強度式を導いた。同式の適用性を図4に示す

$$\text{提案支圧強度式} \\ \sigma_{Br} = 1.8 \cdot \sigma_{cb}^{(0.8 - \sigma_{cb} / 2000)} \cdot \sqrt{Ac/AI}$$

③シース孔がある場合、シース穴径比 (ϕ/d ; ϕ はシース穴径, d は支圧板の一辺長さ) が0.6以下の実用的な範囲では、シース孔面積を除いた支圧面積による支圧強度は孔面積にかかわらずほぼ一定となった。この関係を用いた支圧荷重推定式の適合性を図5に示す。同図で、(P_{0u})は穴がない場合の、(P_u)は同じ支圧板で孔がある場合の破壊荷重をそれぞれ示す。

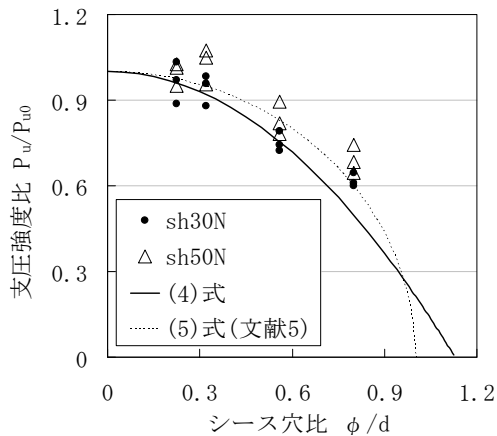


図5 シース孔がある場合の支圧強度

(2) 一面せん断要素試験

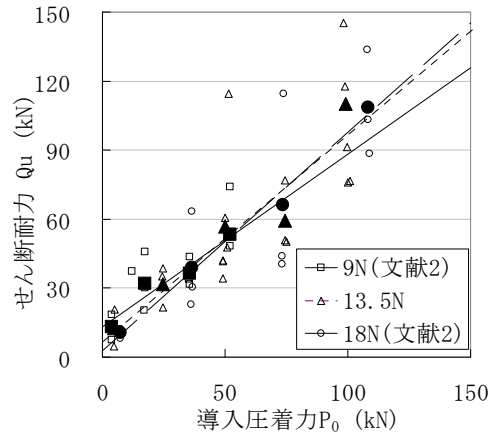
①導入圧着力とせん断耐力の関係

a) グラウトがない場合

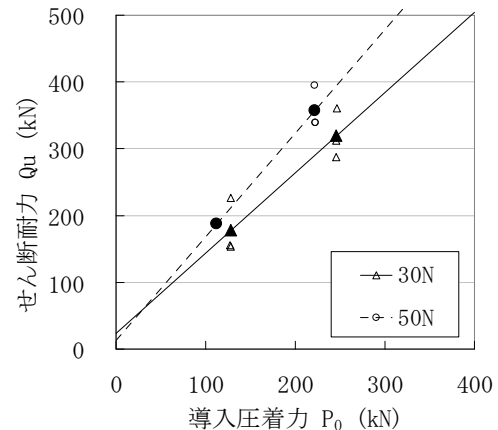
図6は、各コンクリート強度の試験体において、最大せん断荷重(以下、せん断耐力 Q_u と記す)におよぼす導入圧着力(P_0)の影響を調べたものである。同図中の中塗り記号は同一種試験体の平均値を示す。同図によれば、ばらつきは大きいものの、いずれのコンクリート強度の場合でも Q_u と P_0 の間には、縦軸切片に若干の固着強度をもつほぼ線形関係が認められる。従って本研究では、圧着接合部の一面せん断耐力はクーロンの摩擦理論⁶⁾によって推定できると仮定し、実験結果を直線近似することによって求めた摩擦係数とコンクリート強度の関係を図7に示す。実験結果にはばらつきが大きいものの、概ね、コンクリート強度の増加に伴い、摩擦係数が増加する傾向が見られた。

b) グラウトがある場合

図8は、低強度および高強度コンクリートそれぞれについて、グラウト有り(図中-G試験体)の場合のせん断耐力-導入圧着力関係の結果を、グラウト無しの場合のそれと比較して示したものである。同図によれば低強度



(a) 低強度コンクリートの場合



(b) 中・高強度コンクリートの場合

図-6 せん断耐力-導入圧着力関係

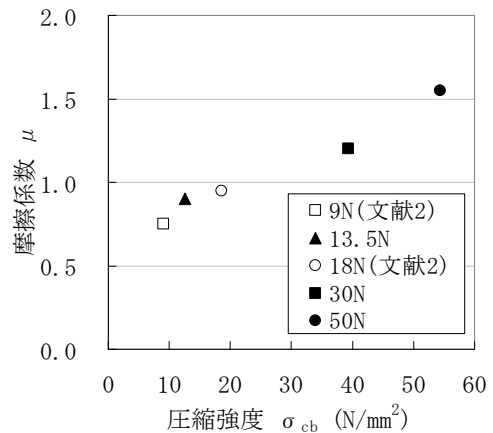
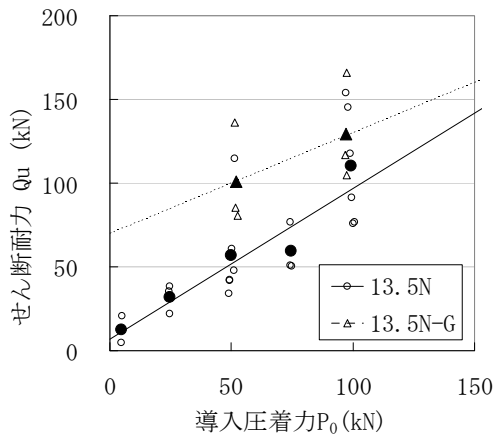
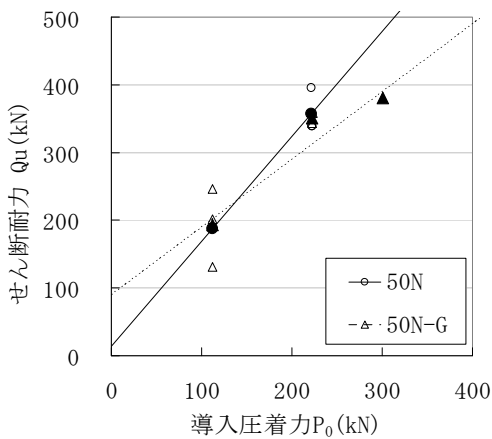


図7 摩擦係数とコンクリート強度の関係



(a) 低強度コンクリートの場合



(b) 高強度コンクリートの場合

図8 グラウトの存在がせん断耐力、摩擦係数に及ぼす影響

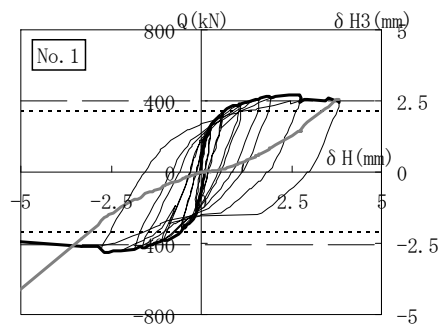
コンクリートの場合、圧着力が小さい範囲では、グラウト有りの Q_u は無しの場合のそれに比べ大きい、圧着力の増加に対してその増分が減少する、言い換えれば見かけ上の摩擦係数が減少する傾向が見られた。高強度コンクリートの場合、試験体種類が少ないので明確ではないが、 P_0 が大きい場合の Q_u は無しの場合と同程度かそれ以下となる傾向が見られる。今後の課題であるが、この原因として、グラウト付きPC鋼材のコッター効果、特にコンクリート強度によって変化するグラウト部による側方支圧に起因するめり込み変形が関係していると推測される。

(3) せん断力伝達試験

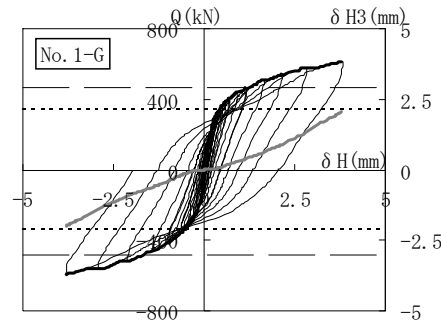
① 水平荷重—載荷点変形関係

図9は、水平力伝達機能を持つスラブを外付け耐震架構に圧着接合したモデル試験体の水平荷重(Q)—載荷点変形(δ_H)関係の

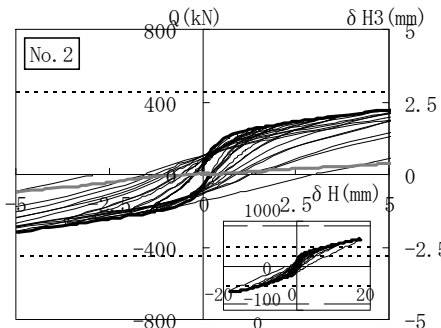
例である。また、同図中には、接合面での摩擦係数 μ を0.8とし、圧着力を初期導入力、ならびにPC鋼材の変形による付加圧着力を考慮した場合のせん断耐力を、点線および破線でそれぞれ表している。同図(a)、(b)より、グラウト有りの場合、グラウト付きPC鋼材のコッター作用によって、無しの場合に比べせん断耐力は増大するが、同耐力は、いずれの場合でも μ を0.8として付加圧着力を考慮すれば良好に推定できる。また、シアスパン比が大きい場合は、曲げモーメント効果が卓越して、大きな載荷点変位が生ずるが、接合面におけるせん断力は推定耐力より小さくすべり破壊しない。



(a) シアスパン比0.5、グラウト無試験体



(b) シアスパン比0.5、グラウト有試験体



(c) シアスパン比0.9、グラウト無試験体

図9 水平荷重—載荷点変形関係の例

② 載荷点変位の分解と推定

試験体載荷点の変位(δ_H)は、図 10 に示すような 4 種の変位、すなわち圧着接合面におけるスラブ板のずれ変形、めり込み変形、スラブ板自体のせん断変形および曲げ変形で構成され、それら各変形の累加で与えられると仮定した。図 11 は、横軸に部材角 R をとって各部材角時の δ_H と、図 10 での算定式による各変位の累加変位を比較したものである。

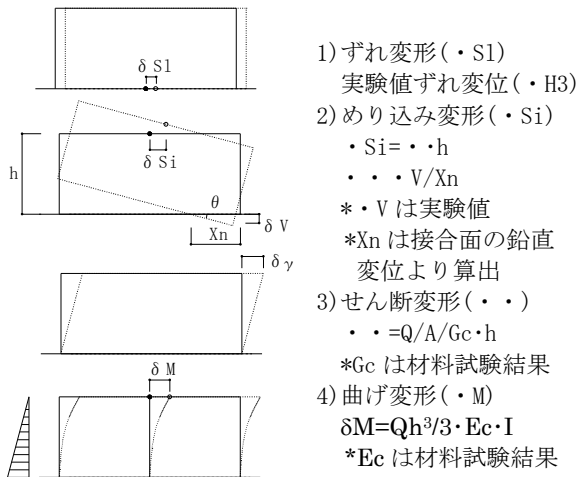
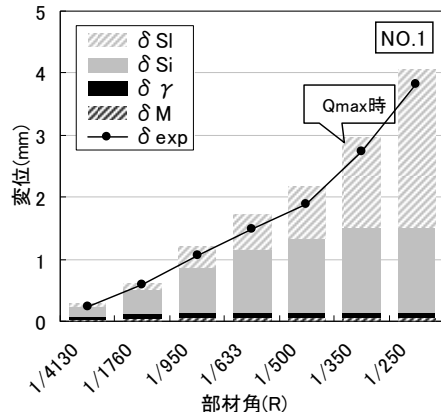
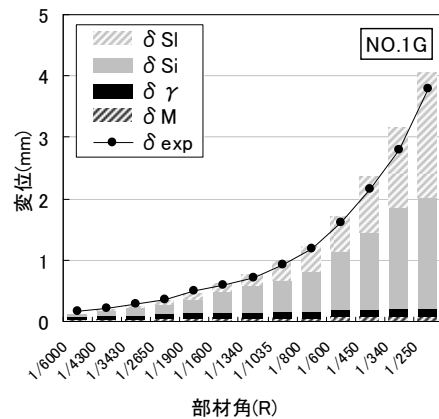


図 10 各変形の概念図と算定法

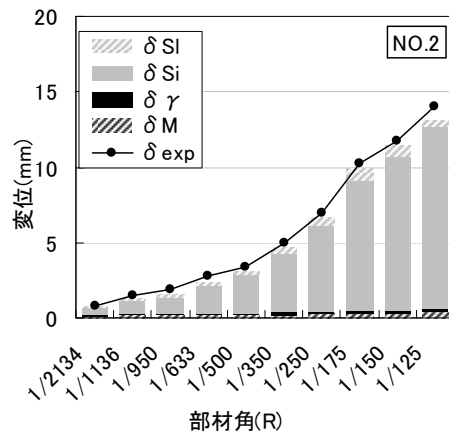
図 11 によれば、いずれの試験体においても、図 10 による変位算定値は実験値を良好に推定している。また、実験において、スラブ板にひび割れ等が見られなかったように、スラブ板そのものの曲げ変形せん断変形は極めて小さく、ずれ変位($\delta s1$) およびめり込み変位(δsi) が卓越している。図 11(a) はシアスパンが 0.5 でグラウト無し試験体である。部材角が小さい範囲ではめり込み変形がずれ変形より大きい、試験体せん断耐力時 (Q_{max}) 以降ではめり込み変位は減少しずれ変形が増大した。またシアスパンは同じで、グラウトを有して荷重のピーク値を示さない試験体 No. 1-G 試験体は、部材角 R が大きくなるとずれ変形割合の増加が見られるが、めり込み変形の減少はない。これに対し、図(c)に示すシアスパン比が 0.9 と大きい試験体では、曲げモーメント効果が卓越してせん断荷重が小さいため、ずれ変形に比べめり込み変形が載荷点変位の殆どの原因となっている。



(a) シアスパン比 0.5、グラウト無試験体



(b) シアスパン比 0.5、グラウト有試験体



(c) シアスパン比 0.9、グラウト無試験体

図 11 載荷点変位の実験値と推定値の比較

(4) まとめ

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

① 建築学会 P C 規準における現行支圧強度推定式は高強度コンクリートに対し危険側の評価を与える。

② コンクリートの引張強度に基づく、低強度から高強度コンクリートにまで適用でき

る支圧強度式を導いた。

- ③圧着接合面のせん断耐力はクーロンの摩擦理論で仮定できること、ならびに摩擦係数のコンクリート強度依存性を示した。
- ④PC鋼材用のグラウトとコンクリート間の強度・剛性の相対関係で、圧着接合面のせん断耐力、破壊モードが変化する。
- ⑤せん断力伝達モデル試験体のせん断破壊耐力は、接合面の摩擦係数を0.8、PC鋼材の初期導入力に変動を考慮した圧着力を用いることによって推定できる。
- ⑥モデル試験体の水平せん断荷重による変形では、スラブ板のずれ変形と既存部分へのめり込み変形が卓越する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7件)

- ①森田真由美、中塚 信、坂田博史、PC圧着工法のための支圧強度と一面せん断強度に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 31-2、掲載決定、2009、査読有り
- ②坂田博史、中塚 信、森田真由美、松本孝雄、圧着型外側耐震補強に関する基礎研究(その1：支圧強度)、日本建築学会大会梗概集、掲載決定、2009、査読無し
- ③松本孝雄、中塚 信、森田真由美、坂田博史、圧着型外側耐震補強に関する基礎研究(その2：一面せん断実験)、日本建築学会大会梗概集、掲載決定、2009、査読無し
- ④森田真由美、中塚 信、坂田博史、松本孝雄、圧着型外側耐震補強に関する基礎研究(その3：せん断伝達性能実験)、日本建築学会大会梗概集、掲載決定、2009、査読無し

⑤森田真由美、中塚 信、吉田由美子、坂田博史、低強度鉄筋コンクリート建物に対する圧着型外側耐震補強に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 30-2、1249-1254、2008、査読有り

⑥松本孝雄、中塚 信、吉田由美子、森田真由美、低強度鉄筋コンクリート建物に対する圧着型外側耐震補強に関する基礎研究(その1)低強度コンクリートの支圧強度および圧着接合部の一面せん断性能、日本建築学会近畿支部研究報告集、237-240、2008、査読無し

⑦松本孝雄、中塚 信、吉田由美子、森田真由美、低強度鉄筋コンクリート建物に対する圧着型外側耐震補強に関する基礎研究(その2) 圧着型外付け耐震架構のせん断伝達性能、日本建築学会近畿支部研究報告集、241-244、2008、査読無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中塚 信 (NAKATSUKA TADASHI)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号：60107133

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

西村 泰志 (NISHIKMURA YASUSHI)
大阪工業大学・工学部・教授
研究者番号：10102998