

[74] プレキャストコンクリートトラス耐震要素の高強度化と靭性改善

正会員 川 股 重 也(東北工業大学建築学科)
 正会員 ○大 沼 正 昭(東北工業大学建築学科)
 栄 辰 夫(ビーエスコンクリート 仙台支店)

1 まえがき

桁行方向の壁量が少ない一文字型プランをもつ学校建築等の耐震性能の改善を目的とした新しい耐震工法として、筆者らは建物の外壁面に沿ってプレキャストコンクリートトラスを組み合わせた耐震構面を形成する方法を開発中であり、これまでの研究¹⁾²⁾で、トラス部材の主筋に普通鉄筋(SD30)を用いたプレキャストRCトラスは基本的に十分な変形能力と安定した履歴特性を示し、耐震要素として優れた性能を備えていることが明らかとなった。実際の建物に使用するトラスユニットでは、これまでの実験で想定している耐力よりもさらに高い耐力が要求されることから、今回は、トラス部材の主筋にPC鋼棒を用いることで高強度化を計り、初期剛性を高めるためにプレストレスを導入した。PC鋼棒は普通鉄筋に較べて塑性変形能力が小さいため、PC鋼棒をアンボンド形式で使用することによりPC鋼棒の可伸縮範囲を長くとることで部材としての変形を大きく引き出すように設計したPCT-1試験体と、さらにPCT-1試験体との比較のためにPC鋼棒とシースの間にグラウト材を注入し、ボンド形式としたPCT-2試験体の計2体の水平加力実験を行なった。³⁾これらの実験結果を参考にしてさらに改良を加え、トラス部材の普通鉄筋とPC鋼棒の量をバランス良く配筋することで、いわゆるPRC的な設計を行ない靭性の改善を計り、東北工業大学の7号館(研究棟)の実施設計に採用した。実大トラスの1/2模型(PCT-3試験体)による耐震性能の実証実験と、7号館の実施設計例も合せて紹介する。

2 実験概要

2・1 使用材料

試験体に使用した鉄筋、異形PC鋼棒(ウルボン)、番線、コンクリートの材料定数を表1と表2に示す。

2・2 PSコンクリートトラス

PCT-1、PCT-2試験体共に主筋は、異形PC鋼棒ウルボン9.2φを4本用い、パネル周囲のリブ内を通して配筋し両端をトラス先端金物にナットで定着してある。緊張力は鋼棒1本当り4.0tで約80kg/cm²のプレストレスを与えており。補助筋には耐力を期待しないため、先端金物とは接続せず、用心鉄筋として4-D6(SD30)を配置した。パネル部分は、対角線方向に生じる圧縮力に耐えるだけの十分な厚みをもたせ、配筋は特にせん断補強筋としてではなく、RC部材の一体性の確保とキレツ分散の見地から配筋した。PCT-1試験体とPCT-2試験体の違いは、PCT-1試験体では主筋鋼棒をアンボンド形式で使用しており、PCT-2試験体では、主筋鋼棒とシースの間にグラウト材を注入し、ボンド形式にしている点のみである。

試験体の形状と配筋を図2に示す。

表1 鉄筋・鋼棒・番線の引張強度

(単位: kg/cm²)

	降伏点	降伏ひずみ	引張強度	ヤング率E
SD30-D6	4161	2050μ	5832	2.03×10 ⁶
SD30-D10	4305	2320μ	6128	1.85×10 ⁶
ウルボン9.2φ	13670	9200μ	14400	2.00×10 ⁶
番線3.2φ	7375	5599μ	7516	2.27×10 ⁶
〃 5φ	1822	830μ	2888	2.27×10 ⁶

表2 コンクリート強度

(単位: kg/cm²)

打設後日数	供試体名	圧縮強度	引張強度	ヤング率E
23日	PCT-1	613.3	28.4	3.36×10 ⁶
31日	PCT-2	643.4	31.62	3.35×10 ⁶
15日	PCT-3	585.3	29.4	3.33×10 ⁶

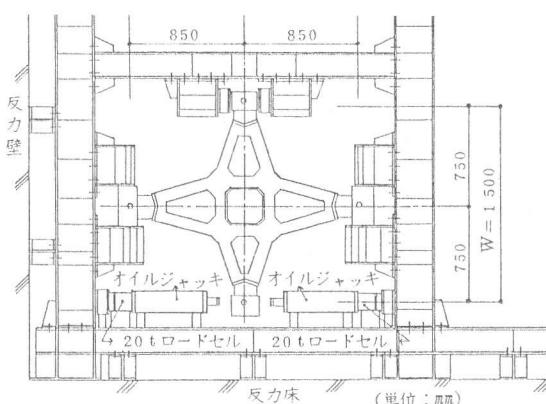


図1 加力装置

加力装置を図1に示す。試験体端部の3点をテフロン・ローラー支承とし、他の1点に正負繰り返しの水平力を加えた。層変形角 $R=2/1000$ 前後までは荷重制御、その後は変位制御とした。

加力装置には、試験体の高さ・幅の関係が逆にセットされているため、荷重Pはラーメン構造と対比させたとき、梁のせん断力に相当し、反力Qは柱のせん断力に相当する。

PCT-1試験体は、荷重12.0t($Q=10.3t$, $R=1.8/1000$)で引張部材に初キレツが生じ、 $R=1/100$ までに、トラス部材の端部にキレツが集中し、その後はキレツ幅の変動のみであった。

パネル部分では、荷重15.47t($Q=13.3t$, $R=5.3/1000$)のとき、パネル中央の対角線方向に初キレツが発生したがその後進展は見られなかった。6Cycle, $R=1.7/100$ で主筋鋼棒が降伏直前にあり、本試験体は、主筋鋼棒両端ネジ部の耐力が不足していることから、破壊させずに実験を終了した。

PCT-2試験体は、荷重12t($Q=10.3t$, $R=2.1/1000$)で引張部材に初キレツが生じ、 $R=7/1000$ までにトラス部材全長にわたって均等にキレツが生じた。パネル部分では、荷重19.6t($Q=16.9t$, $R=6.6/1000$)のときキレツが生じたがその後はキレツ幅の変動のみであった。7Cycleの $R=1.1/100$ でPCT-1試験体と同様の理由により、破壊させずに実験を終了した。層せん断力と層変形角の関係を図3に示す。主筋鋼棒の歪レベルが同一でもトラスユニットの変形としては、PCT-1の方がPCT-2に較べて2倍近く出ており、主筋をアンボンド形式で用いている効果が良く表われている。また残留変形が $R=1/1000 \sim 1.5/1000$ という優れた復元力を示している。主筋鋼棒の軸歪度の比較を図4に示す。PCT-1試験体は主筋鋼棒をアンボンド形式で使用しているため、トラス部材としての軸力が圧縮のときも主筋鋼棒は引張応力状態にあることを示しているのに対し、PCT-2試験体では主筋鋼棒をボンドしているためRCトラスと同様にトラス材の軸力に対応した応力状態にあることを示している。最終キレツ図の比較を図5に示す。主筋アンボンドのPCT-1はトラス材端部にキレツが集中し、主筋をボンドしたPCT-2試験体ではトラス全長にはほぼ均等に分散している。

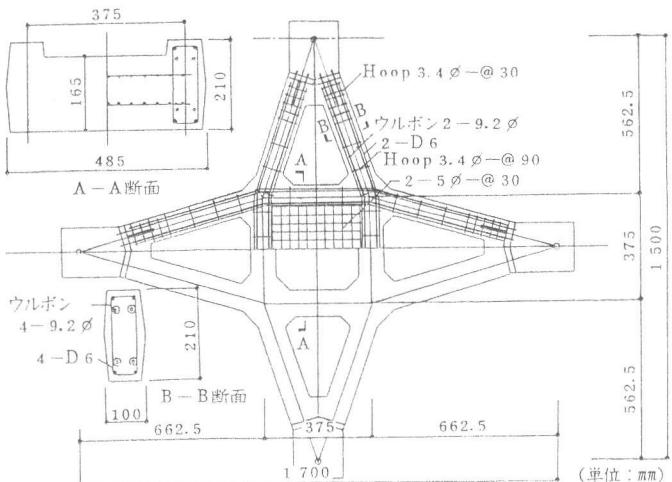


図2 PCT-1, PCT-2 試験体形状・配筋図

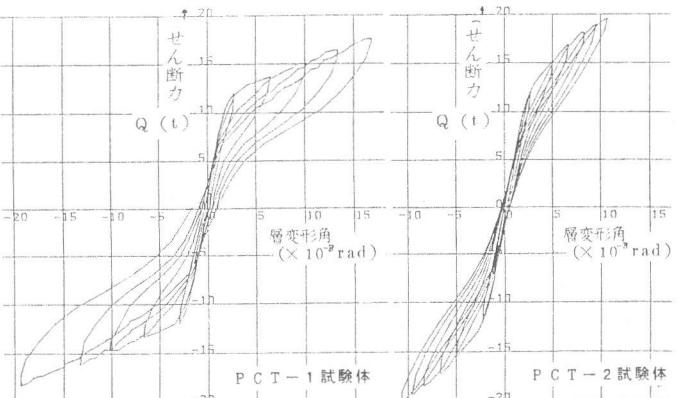


図3 せん断力・層変形角曲線

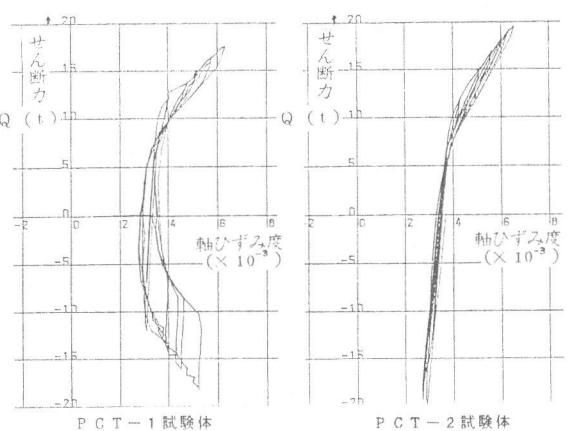


図4 主筋鋼棒軸歪度の比較

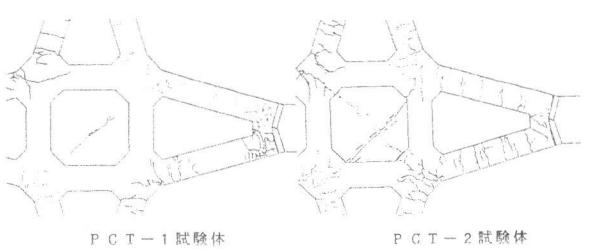


図5 最終キレツ図の比較

2・3 PC鋼棒、普通鉄筋を併用したトラス

試験体の形状と配筋を図6に示す。主筋にはアンボンド加工した異形PC鋼棒ウルボン9.2φを用い、定着部分のみ先端金物にボンドすることによりネジ部の耐力不足を補なった。緊張力は鋼棒1本当り6.0tとした。普通筋はD10を用いて両端にネジ加工した13°の鉄筋を溶接し先端金物に定着した。鋼棒と普通筋の降伏強度の比率は6:4である。図1の加力装置を用いて、正負繰り返しの水平加力実験を行なった。

PCT-3試験体は、荷重8.0t($Q=6.83t$, $R=1.6/1000$)で初キレツが発生し、 $R=8/1000$ までにトラス部材全長にわたって均等にキレツが生じた。パネル部分では $R=3.5/1000$ 前後からキレツが生じ $R=1/100$ までには全面にキレツが観察された。 $R=7/1000$ で普通筋が引張降伏したが、その後も安定したループを描き、 $R=1.8/100$ でPC鋼棒が引張降伏した。その後、11Cycleの $R=3/100$ で圧縮部材のコンクリート表面に剥離が見られたが、急激な耐力低下もなく、 $R=3/100$ まで加力後、破壊させずに実験を終了した。層せん断力と層変形角との関係を図7に、 $R=2/100$ までのPC鋼棒と普通鉄筋の軸歪度曲線を図8・図9に示す。PCT-3試験体は、PCT-1試験体に較べて、履歴曲線の包絡面積が大きくなっている。また図7に示すように、塑性率 $\mu=4.3$ と韌性改善の効果が良く表されている。

2・4 実験結果と解析値の比較

PCT-3試験体についての増分法による弾塑性解析結果を図7に破線で示す。解析ではパネル部分と先端金物とを剛域と仮定し、PC鋼棒はアンボンド形式であるから、定着部からもう一方の定着部までの全長を、また普通筋はトラス部材長さをそれぞれの可伸縮範囲として取り扱った。解析ではパネルの変形を省略したため初期剛性に差が見られるものの、全体としては非常に良く合っており、単純なモデルによる弾塑性解析でも十分シミュレーションすることができる。

東北工業大学7号館で実施設計を行なった実大PCトラスユニットの弾塑性解析結果を図10に示す。1, 2層で用いるユニットと3, 4層で用いるユニットでは、主筋量とプレストレス量を応力レベルに合わせて変えている。いづれも一次設計の応力に対してキレツが生じない様にプレストレス量の下限を設定し、層変形角 $R=3/100$ にてPC鋼棒のひずみが約1.5%程度以内となる範囲で、最もバランスの良い普通筋とPC鋼棒の量及びプレストレス量を決定した。

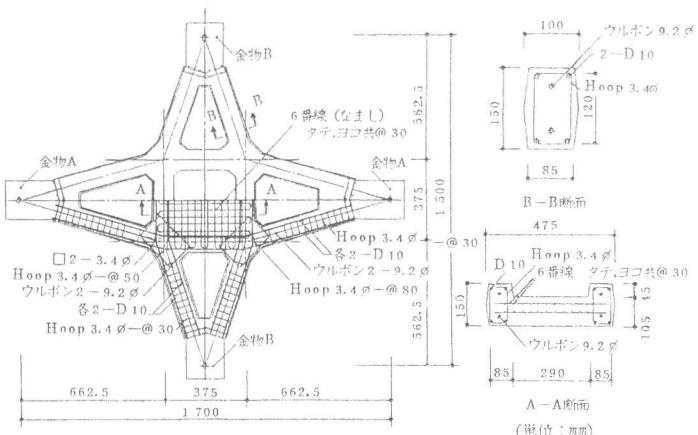


図6 PCT-3 試験体形状・配筋図

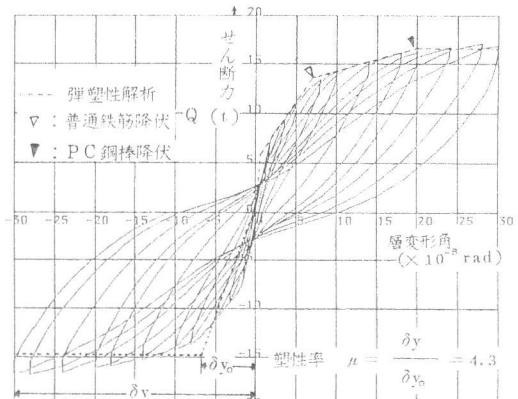


図7 PCT-3 試験体せん断力・層変形角曲線

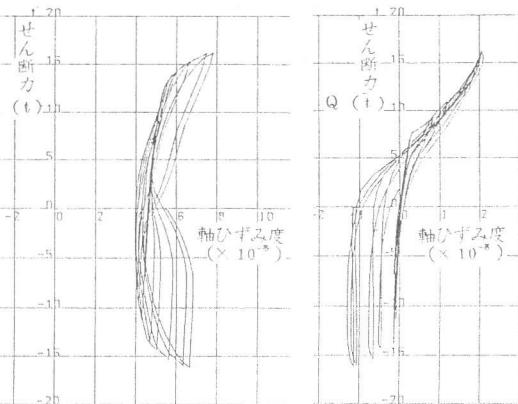


図8 PC鋼棒軸歪度曲線

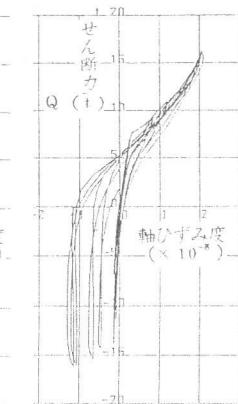


図9 普通筋軸歪度曲線

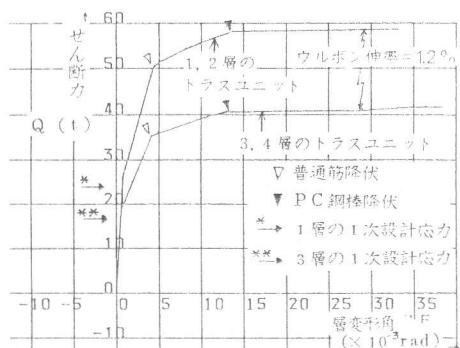


図10 PCトラスユニットの剛性

3 実施設計例——東北工業大学7号館

本建物は、鉄筋コンクリート造地上4階建ての研究棟である。建設場所に既設の浄化槽があるため、建物中央部分を大スパンにし、浄化槽を跨ぐ形に構造計画をした。基準階の床伏図を図11に断面図を図12に示す。中央15.2mスパンの部分は、プレストレスコンクリート造のST床版を単純ばかり形式で敷並べ大スパンの床を構成した。その両側5mスパン部分は、鉄筋コンクリート造である。地震力は、短辺方向については4構面の耐震壁のみで負担し、長辺方向については、15.2mスパン部分のPCトラス構面と両側のラーメン構造で分担するよう計画した。

PCトラス構面は、両側ラーメンの柱とR階ばかりおよび基礎ばかりで閉まれた両外周面内に、連続して配置したトラスユニットを各階床レベルでスラブに緊結し、ユニット相互の材端金物を高力ボルトによる摩擦接合で連結したもので、連続的な耐震構面を形成している。建物の外観を写真1に示す。

トラスユニットには、 $F_c = 55.0 \text{ kg/cm}^2$ のコンクリートを用い、1層と2層に用いたユニットの主筋は異形PC鋼棒ウルボン4-13φを1本当たり12tで緊張し、約 80 kg/cm^2 のプレストレスを与えた。普通筋は6-D16(SD30)を配筋してある。3層と4層に用いたユニットは同一形状であるが、主筋を異形PC鋼棒4-11φと普通筋4-D16とし、約 60 kg/cm^2 のプレストレスを与えた。

中地震を対象とした一次設計では、1階におけるラーメン部分とPCトラス部分の水平力分担率は、それぞれ32%と68%である。大地震を対象とした二次設計は長辺方向についてのみ行ない、PCトラス構面を含むラーメン架構の構造特性係数Ds値はPCトラスの実験結果を基に $D_s = 0.4$ と設定した。保有耐力はベースシャク係数で0.44である、この時のラーメン部分とPCトラス部分の水平力分担率は、それぞれ26%と74%である。

本件は特殊構造であることから日本建築センターの構造技術評定を受けた。

4 結論

プレキャストコンクリートトラスの主筋にPC鋼棒を用い、プレストレスを導入することにより、耐力と初期剛性を高め、中小地震時における層変位を小さく抑えきレツを生じさせない設計が可能となった。また、このトラスは、主筋にアンボンド形式のPC鋼棒とボンドした普通鉄筋を併用することにより、鉄筋コンクリート造のラーメンと同等以上の韌性に富むすぐれた履歴特性を示すことが確認された。

(参考文献)

- 1) 川股重也・大沼正昭 “RCトラス耐震要素の研究 その(1) 設計概念と基本性格”
日本建築学会東北支部研究発表会梗概集 1981年2月 PP.113~116
- 2) 川股・大沼・莊田 “プレキャストコンクリートトラス耐震要素の研究”
第4回コンクリート工学年次講演会論文集 1982年6月 PP.333~336
- 3) 川股・大沼・榮 “RCトラス耐震要素の研究 その(2) 耐力の増強とプレストレスの導入”
“ ” “ ” その(3) 韌性の改善とPRC設計”
日本建築学会東北支部研究発表会梗概集 1982年11月 PP.337~344

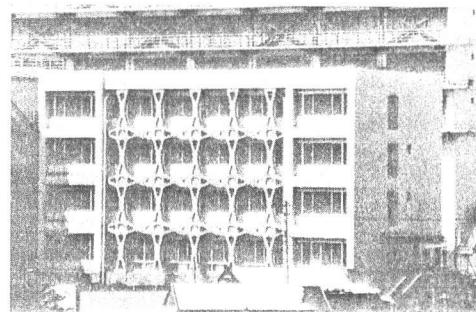


写真1 7号館

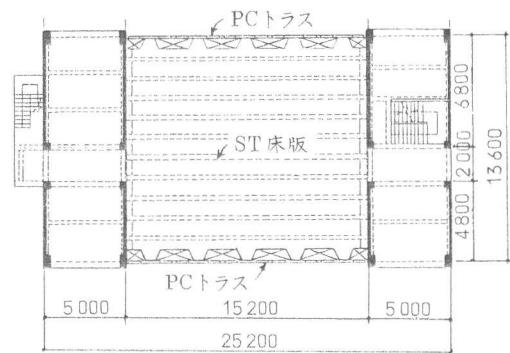


図11 基準階床伏図

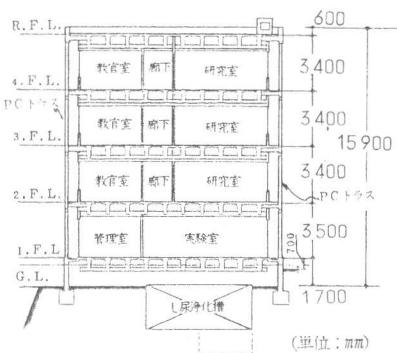


図12 断面図