

氏名	田邊 恵三
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成8年3月15日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和39年3月 芝浦工業大学工学部建築学科卒業
学位論文題目	コーベル式 PC 圧着工法を用いた剛節骨組の力学的特性と耐震性能に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 柴田 明德 東北大学教授 山田 大彦 東北大学教授 小川 淳二 東北大学教授 阿部 博之

論文内容要旨

本論文は、多層多スパンの建物にプレストレストコンクリート構造を応用して連続骨組を構築する場合、柱・梁圧着接合部に用いられるコーベル式 PC 圧着工法の力学的特性と耐震性能に関する研究である。

建築に最先端プレファブリケーション技術を導入して、柱、梁によって剛節骨組を形成する工法は、PC 圧着接合技術とその耐震性能に対する評価が重要課題であった。又、PC 構造剛節骨組の場合、特に、プレストレス導入によって生ずる不可避の不静定二次応力の処理を解決する施工法とその解析的研究が未だ確立されていない。この理由から、連続スパン全長が 60m を越える建物の建設は難しかった。これらを解決する施工法には、プレストレス導入を建物全体に同時緊張する方法、又は、大梁のプレストレスによる材長短縮を柱頭部で水平移動させる方法等がこれまでにある。しかし、これらの施工法はいずれも場所打工法と同時に、支保工を必要とするため、1～2 層しか適用されていない。従って、無支保工とした省力化工法の PC 圧着工法の場合、柱・梁圧着接合部は鉄骨仕口と場所打工法とを併用した SPC 合成工法、又は、柱ブラケット方式によって建設されたきた。

合成工法は、場所打コンクリートを仕口部を適用することから、 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上の高強度コンクリートの現場施工技術上の品質保証と品質管理を確保することに問題点が多々あった。

柱ブラケット方式は仮設ブラケット方式、又は本設アゴ方式の二つの構築方法によって施工されてきた。

仮設ブラケット方式による柱・梁圧着接合は、終局段階に接合部のスリップが起きるとの指摘があり、十分な変形性能を持たせる性能保証の検証が未解決となっている。又、耐震設計上から必須な本設アゴ方式はフレームより突出させる結果、デザイン上支障となっていた。

本論文は、柱ブラケット方式を改良して、これまでの PC 圧着工法に関する諸問題を①工業化構法による省力化工法の施工技術と施工性、②施工段階から使用段階までの一貫した圧着接合の耐震的安全性、③施工実績と経済性、等の見地から総合的に分析した。その結果、多層・多スパンの連続骨組によって構築される大規模構造物には、筆者が提唱するプレスジョイントシステムによるコーベル式 PC 圧着工法が適切な工法の一つであると確信し、この力学的特性と耐震性能に関する研究を行った。

本工法は、現在、多くの物流施設や競技場の大規模建物に適用され、実践的優位性が認められ世界的に注目を浴びている。

本論文は 7 章から構成されており、各章別に研究内容とその成果を述べることとする。

第1章では、本研究の目的について述べ、PC建築工法における従来の研究と研究開発の方法、又、それらの背景について総合的に述べ、本工法の施工性と安全性に対する3つの改良方法の特徴を示している。

その第1は、PC構造の剛節骨組の構築工法において合成床工法以外の構成部材について場所打工法を用いない工場生産によるブロック化を試み現場作業を無くしたことである。

その第2は、プレキャスト柱を基礎の上に据えて圧着させる場合、柱と同一型枠によって成型された柱脚台座ブロックを使用することによって水平、垂直方向の調整を容易にし、柱の自立の施工スピードを向上させたことである。

その第3は、PC柱と一体で成型された堅固な柱アゴいわゆるコーベルをフレーム内に内蔵されたことである。これによって、施工段階における単純PC大梁の全せん断力に対して耐え、かつ、終局時まで鉄筋コンクリートの強力なせん断キラーの働きを持たせたことによって、施工性と施工段階の安全性を飛躍的に向上させた。

第2章では、多層・多スパンラーメン構造に用いたコーベル式圧着工法の1/3フレームモデルによる正負繰返し実験について述べ、その結果に対する考察を示している。実験結果から以下に示す知見が得られた。

1. 3軸方向よりプレストレスが与えられたパネルゾーンは、拘束効果のため損傷が無く、終局時(層間変形角1/50)まで健全である。
2. 柱・梁圧着接合部のPCストランドは、初期緊張力をPC鋼材の降伏耐力の60%以下に制限させることによって、層間変形角が1/25を越え、1/12.5の大変形時でも、先行破断することは無く、高靱性を保つ。
3. 柱・梁圧着接合部の回転変形性能は、PCストランドの引張歪より求まる回転率によって正確に把握できることを理論的に示した。
4. 柱・梁圧着接合部の層間変形角に対する回転変形性能寄与率は、終局時において、90%に達することが明かとなり、破壊メカニズムは柱・梁圧着端回転ヒンジ先行系となる。
5. 1サイクル及び2サイクルの正負繰返し加力実験からフレームの履歴曲線が得られ、コーベル式圧着接合は、残留変形が少なく脹らみのある原点指向型の復元力特性を持つ。等価粘性減衰定数は、層間変形角が1/150radの時ほぼ5%である。

第3章では、第2章で得られた知見に基づき、本工法の耐震性能の評価に必要な以下の項目の考え方を明らかにした。

1. 柱・梁圧着接合部内のパネルゾーンの応力挙動について、3軸方向プレストレスと正負繰返し加力による応力とを合成した応力状態をもとに検証し、引張亀裂を残留させない弾性的挙動を示すことを確認した。
2. PC鋼材の靱性設計において、その初期導入応力を降伏応力の60%以下に制限することによって、柱・梁圧着接合の変形性が高められる。
3. 各サイクル別履歴ループ勾配を明らかにした復元力特性モデルを提示した。特に、コーベル式PC圧着フレームの復元力特性は、従来のPC構造のそれと違って、脹らみのある原点指向型を示し、また、層間変形角が1/33の大変形時でも、残留変形が少ない特性を持つ。等価粘性減衰定数は、層間変形角の関数として簡便な近似式を提示した。
4. 梁降伏時の層間変形角は、1/100 rad位であり、これに対するダクティリティ率は3程度の値となる。又、部材レベルでは、1/25 radまで許容でき、ダクティリティ率は4程度の値を確保できる。

第4章では、多層・多スパンラーメン構造に柱・梁圧着接合を適用する場合、プレストレス導入によって生ずる不可避の不静定二次応力を最少にするには、連続ケーブルを使用せず柱・梁剛節点より両側スパンの1/4区間のみプレストレスを与えるプレスジョイントシステムの緊張システムが有用であることを解析的に明らかにした。

この緊張システムは、柱・梁圧着接合する節点の他端側を可動端とし水平移動させ、順次、一定のフレーム形成方向にプレストレスを与える方法である。

この緊張システムによれば、多層・多スパン連続骨組のプレストレスによる応力を予め単純化して把握できることを解析的に明らかにした。又、層数、スパン長さ、フレーム数、フレーム剛度等の関係によって、不静定二次応力とプレストレス力損失率の算定式と図表化を試み、不静定PC構造の難問を解決させた。

第5章では、PC圧着工法に適用する圧着接合とケーブル配線法を種々分類し、コーベル式PC圧着工法の特徴とその設計法について述べ、終局強度型耐震設計法を提案している。従来のPC構造の曲げ終局耐力式と違って、本工法の場合は、柱・梁圧着接合部に使用したPC鋼材の先行降伏を避けるため、終局歪を梁外縁で仮定することによって、

弾性最大歪の範囲内にあることを保証した曲げ終局耐力式を開発した。

第6章では、コーベル式PC圧着工法の組立施工システムの方法を明らかにしている。特に、第4章で解析した緊張システムのホッチキス型配線システムとプレスジョイントシステムの緊張方法を明らかにしている。

第7章は、本研究の総括であり、各章に記した結言を簡潔にまとめた結論である。

著者は、これらの研究成果が得られたことにより、剛節骨組にコーベル式PC圧着工法を用いた多層・多スパン連続骨組の組立構築工法が、最先端プレファブリケーション技術を駆使した省力化工法であり、また耐震性能評価に関する基礎的実験データをもとにして耐震的に優れた工法であることを明らかにした。

本論文の力学的特性と耐震性能に関する研究が、新たなるPC構造の高層化に対応できる応用技術の推進に貢献し、またPC構造の耐震設計の発展に寄与できることを確信している。

審査結果の要旨

プレストレストコンクリート（PC）構法により多層多スパンの剛節骨組を構築する場合、柱・梁部材の接合方法、プレストレス導入による2次応力の処理、及び耐震性能の正確な評価が重要な問題となるが、これに関する研究は従来極めて少ない。

本研究は、コーベルを用いたPC圧着工法によりプレキャストコンクリートの柱・梁を接合する構法について、接合部の地震時挙動に関する実験並びに2次不静定応力の力学的特性に関する解析を行い、その結果に基づいて実用的な設計方法を提示したもので、全7章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、柱・梁接合部の十字型1/3縮尺試験体について、大変形までの繰り返し加力実験を行い、ひび割れ及び破壊の状況、履歴復元力特性、柱主筋及びPC鋼棒と梁のストランドケーブルの応力挙動などを解明している。PC鋼棒の緊張力を従来より低減させた柱・梁圧着部は大きな回転変形性能を有すること、このためにはコーベルによりせん断力を安全に支持する必要のあることなどを実験により明らかにしている。これは重要な知見である。

第3章では、大変形までの繰り返し復元力特性のモデルを提示し、本圧着工法が従来のPC工法に比べて大きな履歴減衰を期待できることを示している。又、大変形時においても柱は降伏せず、接合部は健全な状態を保ち、良好な耐震性能を有することを明らかにしている。

第4章では、柱・梁の節点ごとに圧着接合を行いつつ順次一定方向に骨組を形成する場合に発生する不静定2次応力の力学的特性を解析的に明らかにし、図表による実用設計法を提示している。これは貴重な成果である。

第5章では、コーベル式圧着工法の設計法について述べるとともに、第2章の実験から得られた知見をもとに、PC梁部材の終局耐力算定の一方法を提案している。

第6章では、本圧着工法を用いた多層多スパンのラーメン架構の組立施工システムについて述べ、その問題点と解決策を明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、コーベル式圧着工法を用いたプレストレストコンクリート造骨組の構築に際して問題となる接合部の耐震性能及び施工時の2次不静定応力の特性を明らかにするとともに、その設計施工システムを示したもので、建築学及び耐震工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。