

鋼材によるコンクリートの拘束効果を利用した 合成構造の力学的特性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、我国では、多大な被害をもたらす地震や火山噴火等の自然災害が多発し、地盤の地割れや変形、更には構造物の崩壊等が数多く報告されるなど、社会資本の被害には、目を覆うものがある。また、東海地震を始め各地で大地震の発生が危惧され、過去の歴史的記録からも自然災害を避けて通ることが出来ないことは明白である。そのため、地上の構造物はもとより、地下街や地下駐車場をはじめ地中の構造物についても安全性を向上させることは急務であるが、社会資本の整備に対する省力化施工や工期短縮等のコスト削減の命題が一層強く課せられるようになってきた。特に、都市部での連続立体化事業に伴う鉄道線路近接工事や地下工事等のように、施工が困難で、用地や作業時間あるいは環境問題等、各種の制約を受ける建設事例が急増してきている。このような制約条件に対して、施工効率の向上を図ると共に、施工の安全性を確保し、工期の短縮が可能な構造が求められている。この様な厳しい条件を満足する構造の一つとして、鋼とコンクリートとを組合せたコンクリート充填式の合成部材が挙げられる。

そこで本研究では、コンクリート充填式円形鋼管合成部材の供試体、コンクリート充填式角形鋼管合成部材の供試体とそのコンクリートにプレストレスを導入した供試体および新たに開発を目指すスタッド付きH形鋼・コンクリート合成部材の供試体として、合計3種類の供試体を用い、コンクリートの拘束効果に着目した力学的特性の検討および考察を行った。

本論文は全5章から構成されている。

第1章は、序論であり、本研究全体の概要を述べた。

第2章では、コンクリート充填式円形鋼管合成部材の軸圧縮耐荷性状について、最初にその研究に至った背景とその目的を述べた。本合成部材の鋼管内面に、二硫化モリブデンが球状の微粒子となって混合された常温施工が可能なグリースを新たな分離材として塗布することを試みた。それによって円形鋼管による拘束効果が十分に発揮されたことを示した。また、鋼管内面に分離材を塗布した本合成部材の耐力算定に、本来RC部材に用いられているCEB-FIPの拘束コンクリートの見かけの強度と終局ひずみの増加式(以後、CEB-FIPの式と表す)の適用が可能であることを明らかにした。

第3章では、コンクリート充填式角形鋼管合成部材の軸圧縮耐荷性状、曲げ耐荷性状およびせん断耐荷性状について、最初にその研究に至った背景とその目的を述べた。軸

圧縮耐荷性状に関しては、載荷荷重の増加と共に鋼管の辺と隅角部で拘束効果が一様でなくなり、鋼管の各辺が最初曲げによって降伏し、続いて隅角部に側圧が集中して、最終的には隅角部近傍も引張力で降伏したことを明らかにした。一方、荷重増加に伴って角形断面が大きく変形し、円形断面に移行する過程において、再度耐力が増加することもわかった。角形鋼管によってコンクリートが有効に拘束される部分と有効に拘束されない部分を考慮することで、CEB-FIP の式を本部材の耐力評価に安全側に適用出来ることを明らかにした。また三次元の非線形有限要素法解析によっても鋼管の隅角部に側圧が集中し、耐力が増加することを示した。曲げ耐荷性状に関しては、充填コンクリートにプレストレスを導入した場合も、鋼管隅角部による拘束を考慮することで CEB-FIP の式を曲げ耐力の評価に適用出来ることを明らかにした。尚、通常の PC 部材と同様に PC 鋼材を偏心配置することで、耐力のより一層の向上が予想される。せん断耐荷性状に関しては、曲げ耐荷性状と同様、CEB-FIP の式を適用することにより実測値に近似した荷重-変位関係が得られたことから、本式の適用が妥当であることを示した。せん断耐力の計算値について、実用的には鋼材が受持つせん断耐力の分担分は、角形鋼管梁で全て受持つとすることで、実測値に対して十分安全側であることを示した。本部材の破壊モードは鋼管側面の降伏よりも鋼管の上面、下面の降伏が先行し、最終的に座屈をおこす曲げ破壊性状であったことがわかった。また、実験終了後、鋼管側面を剥したことによって、終局時では、せん断スパン内のコンクリートが端部支圧板によって拘束されるため、斜めひび割れが途中から水平方向へと伸展したことが観察できた。

第 4 章では、スタッド付き H 形鋼・コンクリート合成部材の軸圧縮耐荷性状、曲げ耐荷性状およびせん断耐荷性状について、最初にその研究に至った背景とその目的を述べた。スタッドの利用目的に関しては、いままでは主に鋼とコンクリートとのずれ止めとして用いられているが、本合成部材ではスタッドに引張材としての働きも持たせることを試みた。軸圧縮耐荷性状に関しては、二本の H 形鋼腹部に頭付きスタッドを溶接し、スタッドどうしを交互に挟み込むように並べてコンクリートを充填した合成部材である。コンクリートにはポアソン効果によるトラス状の拘束域が形成され、見かけの強度と終局ひずみの増加が得られたことを示した。スタッド長は、長い方がトラス状の拘束域の面積が大きくなり、コンクリートの軸強度が増加することがわかった。スタッドによる拘束効果を考慮するため、本論文で提案している有効面積の算定方法を用いることで、耐力評価に CEB-FIP の式を安全側に応用出来ることを証明した。また、三次元の非線形有限要素法解析によってもスタッドによるトラス状の拘束域が形成されることを示した。曲げ耐荷性状に関しては、スタッドによる拘束効果と共に H 形鋼とコンクリートとの一体化によって、梁としての変形能力が向上したことを実証した。コンクリートの拘束効果により断面圧縮域の縦ひずみが大きい上段側に配置されたスタッドは下段側よりも拘束効果に大きく寄与していることがわかった。本合成部材の曲げ耐力は、断面の圧縮域のスタッド本数を考慮し、CEB-FIP の式を適用することで概ね評価できることを明らかにした。また、三次元の非線形有限要素法解析によってもスタッドによる拘束域が形成されることを示した。せん断耐荷性状に関しては、H 形鋼腹部のタイドアーチ的な圧縮域に配置されたスタッドが、腹部の変形を制限することによって、曲げ供試体の場合と同様に梁としての変形能力が高まったことを実証した。またせん断耐力の評価に CEB-

FIP の式の適用も可能であり、コンクリート充填式角形鋼管合成部材の場合と同様に、せん断耐力の計算値について、実用的には鋼材が受持つせん断耐力の分担分は、H 形鋼梁で全て受持つとすることで、実測値に対して、十分安全側の値が得られることを示した。

第 5 章では、本論文全体の結論を述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 田 興史雄

副 査 教 授 佐 藤 浩 一

副 査 教 授 上 田 正 生

副 査 教 授 大 沼 博 志

学 位 論 文 題 名

鋼材によるコンクリートの拘束効果を利用した 合成構造の力学的特性に関する研究

近年、社会基盤構造物の地震被害が多く見られ、安全性の向上が重要な課題となっている。また、コスト縮減への要求から工事の省力化や工期短縮が求められ、さらに都市部では近接工事や地下構造物の増加、環境問題などから施工上の制約条件の厳しい事例が増えている。これらに対応するため、各種の複合構造の活用が考えられている。

本研究は、鋼材によるコンクリートの拘束効果を利用する複合構造として、付着のないコンクリート充填鋼管合成部材およびスタッド付き H 形鋼・コンクリート合成部材の力学的特性について検討したものであり、論文は 5 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の概要が述べられている。

第 2 章では本研究の基礎として、付着のないコンクリート充填円形鋼管合成部材の軸圧縮耐荷性状に関する研究について述べられている。鋼管とコンクリートとの付着を排除するため、常温施工が可能な分離材として二硫化モリブデンが混合されたグリースを考案し、これを鋼管内面に塗布したコンクリート充填円形鋼管合成部材の軸圧縮実験を行い、分離材が所要の性能を有することを実証するとともに、拘束効果によりコンクリートの軸圧縮強度および終局圧縮ひずみが増加すること、および鉄筋コンクリート柱部材を対象とする CEB-FIP による拘束コンクリートの強度と終局ひずみの算定式が、本合成部材の耐荷性能の評価にも適用可能であることを明らかにしている。

第 3 章では、付着のないコンクリート充填角形鋼管のコンクリートにプレストレスを導入した合成部材の力学的特性に関する研究について述べられている。まず軸圧縮実験を行い、鋼管の辺部と隅角部とで拘束効果が一様ではなく、鋼管の各辺がまず曲げによって降伏し、その後は隅角部に拘束圧が集中し、最終的には隅角部近傍も側方引張力によって降伏することを示している。また、CEB-FIP 式において、拘束された軸方向鉄筋本数 $n=4$ と等価であると近似することにより、本合成部材の耐荷性能の評価に同式を適用できることを明らかにしている。曲げ耐荷性状に関しても、鋼管による拘束効果を $n=4$ と近似して CEB-FIP 式を適用することにより、曲げ耐荷性能の評価が可能であるこ

とを明らかにしている。せん断耐荷性状に関しては、鋼管ウェブは鋼管部材としての分担せん断力を受持つと同時に、コンクリート部材に対するせん断補強鋼材としての役割があることを明らかにしている。その際、鋼管ウェブの降伏耐力は両者の相互作用により決定されるため、後者の影響を無視し前者のみによって降伏すると仮定しても誤差は小さく、かつ安全側の近似となることを示し、これを実用設計法として提案している。

第4章では、スタッド付きH形鋼・コンクリート合成部材の開発研究について述べられている。スタッドは、従来主として鋼とコンクリートとのずれ止めとして用いられているが、本合成部材ではコンクリートに対する拘束効果を期待する点に特徴がある。まず軸圧縮耐荷性状に関する実験を行い、スタッドに働く引張力によりコンクリートにトラス状の拘束域が形成され、圧縮強度と終局ひずみの増加が得られること、スタッドの長さが拘束域の面積に影響することなどを明らかにしている。また、スタッドにより拘束されるコンクリート有効面積の実用的な算定方法を提案するとともに、これを CEB-FIP 式に適用することにより、部材の耐荷性能の算定が可能であることを明らかにしている。次に曲げ耐荷性状に関しては、スタッドによるH形鋼とコンクリートとの一体化およびコンクリートに対する拘束効果により、部材としての変形能力が大きく向上することを明らかにするとともに、部材の曲げ圧縮部に配置されたスタッドによる拘束効果を考慮し CEB-FIP 式を適用することにより、曲げ耐力を算定することを提案している。また、せん断耐荷性状に関しては、コンクリート充填角形鋼管合成部材の場合と同様に、H形鋼ウェブのコンクリートせん断補強鋼材としての分担を無視し、H形鋼部材が全せん断力を受け持つとの仮定が十分な近似であることを明らかにし、これを実用的設計法として提案している。

第5章では、本論文全体の結論が述べられている。

これを要するに、著者は、鋼材によるコンクリートの拘束効果を利用する合成構造として、付着のないコンクリート充填鋼管合成部材、およびスタッドをコンクリート拘束材として利用するスタッド付きH形鋼・コンクリート合成部材の力学的特性を明らかにするとともに、実用的な設計法を提案したものであり、構造工学、とくに複合構造工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。