

京都大学	博士 (工学)	氏名	徐 晨
論文題目	Static and Fatigue Strength of Group Studs Shear Connector under Biaxial Loading Action (頭付きスタッドをグループ配置したずれ止め構造の静的強度ならびに疲労強度)		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究は、近年、合理化構造として実橋に多用されるに至った鋼・コンクリート複合形式の橋梁である合成桁橋のキーエレメント・頭付きスタッドを用いたずれ止め構造を取り上げ、橋梁の広幅員化に際して同構造に発生する橋軸直角方向の付加曲げの橋軸方向のずれ挙動への影響を明らかにすることを目的とし、頭付きスタッドを通常配置・グループ配置した2種類のずれ止め構造のモデルに対する2軸負荷下における押し抜きせん断試験および複合非線形有限要素解析を実施し、ずれ剛性・ずれ強度ならびに繰り返し荷重下における疲労強度を検証した結果を取りまとめたものであって、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べ、特に、鋼・コンクリート合成桁の挙動とその設計法ならびにずれ止め構造とその性能評価法の開発動向の概要を示している。</p> <p>第2章では、鋼要素およびコンクリート要素それぞれに大変形下での弾塑性構成則を採用し、損傷理論の適用により、損傷の累積による軟化挙動のモデル化も含め、さらに、鋼要素とコンクリート要素の境界面には付着・すべり挙動を導入したずれ止め構造の有限要素解析モデルを構築し、付加曲げ（橋軸直角方向）の有無、コンクリート強度、スタッド径、スタッド高さをパラメータとして解析を行っている。その結果、付加曲げにより頭付きスタッド根元のコンクリートが側方向に拘束され、ずれ剛性ならびにずれ強度は増加する傾向にあり、コンクリート強度が小さいと、これらの傾向は顕著となり、一方、スタッド径が大きいと、これらの影響は顕著でなくなることを明らかにした。また、我が国の土木学会基準、欧州規格、米国規格に基づき本研究で対象としたずれ止め構造の静的強度を評価した結果、基準強度が解析結果を大幅に下回り、安全側の強度評価となっていることを明らかにした。</p> <p>第3章では、第2章で構築した解析モデルを用いて、付加曲げ（橋軸直角方向）によって生じるコンクリートスラブのき裂の有無、その深さをパラメータに同様な検証を行っている。なお、き裂深さは初等はり理論に基づき設定値を算定しているが、実際の有限要素解析では、若干小さく生じる結果を示している。なお、これらの結果、コンクリートスラブにき裂（橋軸方向）を有すると、ずれ変形に伴いスラブ内の圧縮損傷領域が広範囲に及ぶことを示すとともに、ずれ剛性ならびにずれ強度を大きく減じることを明らかにした。さらに、コンクリート強度が小さいと、これらの傾向は顕著となり、一方、スタッド径・スタッド高さの影響は顕著でなくなることを明らかにした。なお、設計上有用なき裂深さとずれ強度ならびにずれ剛性の評価式を提示している。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	徐 晨
------	---------	----	-----

第4章では、第2章・第3章で用いた解析モデルを既存の頭付きスタッドを通常配置した押し抜きせん断試験体ならびにグループ配置した押し抜きせん断試験体の実験結果と比較することで、境界条件を含む解析モデルの適用性について検証している。その結果、軟化域を含む材料非線形挙動を把握するためには、損傷理論の適用が有効で、解析結果の精度向上が得られることを示している。また、コンクリートのき裂内での接触摩擦ならびに鋼フランジとコンクリートスラブ間の付着・摩擦が、ずれ剛性とずれ強度に影響することを明らかにしている。特に、頭付きスタッドをグループ配置した場合、摩擦・付着がずれ強度ならびにずれ剛性を大幅に減少させるため、グループ配置した頭付きスタッドを用いたプレキャスト床版との合成化には、性能低下に関して留意が必要である。

第5章では、第2章・第3章で検証した付加曲げ（橋軸直角方向）の影響、付加曲げ（橋軸直角方向）によって生じるコンクリートスラブのき裂の影響について、押し抜きせん断試験を実施し、実験的にずれ挙動を検証している。ここでは、実験結果は、解析的結果と整合することが確認されるとともに、付加曲げ（橋軸直角方向）下でのずれ挙動は、高強度・高剛性である一方、破壊は脆性的であること、これに反して、コンクリートスラブにき裂を有する場合のずれ挙動は、低強度・低剛性で、破壊は延性的であることを確認している。なお、実験結果に基づくと、欧州規格は非常に安全な設計となることを示している。

第6章では、ずれ変位を制御した繰り返し押し抜きせん断試験結果を参照して、スタッド基部に発生する軸ひずみおよびせん断ひずみの履歴に基づきずれ止め構造の疲労強度について検証した結果、付加曲げは疲労強度を向上させるが、コンクリートスラブのき裂は、疲労強度を低下させることを明らかにした。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

氏名	徐晨
----	----

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、近年、合理化構造として実橋に多用されるに至った鋼・コンクリート複合形式の橋梁である合成桁橋のキーエレメント・頭付きスタッドを用いたずれ止め構造を取り上げ、橋梁の広幅員化に際して同構造に発生する橋軸直角方向の付加曲げの橋軸方向のずれ挙動への影響を明らかにすることを目的とし、頭付きスタッドを通常配置・グループ配置した2種類のずれ止め構造のモデルに対する2軸負荷下における押し抜きせん断試験および複合非線形有限要素解析を実施し、ずれ剛性・ずれ強度ならびに繰り返し荷重下における疲労強度を検証した結果を取りまとめている。本論文において得られた主な研究成果は、以下のとおりである。

- ①鋼要素およびコンクリート要素それぞれに大変形下での弾塑性構成則を採用し、損傷理論の適用により、損傷の累積による軟化挙動のモデル化も含め、さらに、鋼要素とコンクリート要素の境界面には付着・すべり挙動を導入したずれ止め構造の有限要素解析モデルを構築し、実験結果と比較することで解析手法の適用性を検証した結果、弾性的な応答時のずれ剛性ならびに構成要素の非弾性化にともなう剛性の低下ならびに最大ずれ耐力点に至る終局挙動を定性的に評価できることを明らかにした。
- ②コンクリート強度、スタッド径、スタッド高、付加曲げの有無、コンクリートスラブのき裂幅をパラメータとして、通常配置・グループ配置のそれぞれに対して有限要素解析を実施した結果、付加曲げによりずれ剛性ならびにずれ強度は増加する傾向にあるが、コンクリートスラブのき裂は、これらを減少させる傾向が見られた。特に、コンクリート強度が小さいと、これらの傾向は顕著となり、一方、スタッド径が大きいと、これらの影響は顕著でなくなることが明らかになった。これらは、押し抜きせん断試験によっても認められた。
- ③我が国の土木学会基準、欧州規格、米国規格に基づき本研究で対象としたずれ止め構造の静的強度を評価した結果、すべて実験結果・解析結果を大幅に下回り、安全側の強度評価となっていることが明らかになった。特に、欧州規格は非常に安全な設計となっている。
- ④ずれ変位を制御した繰り返し押し抜きせん断試験結果を参照して、スタッド基部に発生する軸ひずみおよびせん断ひずみの履歴に基づきずれ止め構造の疲労強度について検証した結果、付加曲げは疲労強度を向上させるが、コンクリートスラブのき裂は、疲労強度を低下させることを明らかにした。

以上、本論文は、頭付きスタッドずれ止め構造の合理的な設計法の確立を目指し、2軸負荷下での静的強度ならびに疲労強度を明らかにすることにより、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年8月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。