



Elasto-Plastic Behavior of Composite Beam Connected to RHS Column

MOHAMMADREZA ESLAMI

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2014-03-25

(Date of Publication)

2015-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6074号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006074>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(Attachment: Form 3)

Dissertation Abstract

Name: Mohammadreza ESLAMIDepartment: ArchitectureDissertation Title : Elasto-Plastic Behavior of Composite Beam Connected to RHS Column

角形鋼管柱に接合される合成梁の弾塑性挙動

When a steel moment frame is subjected to seismic forces, in positive bending due to the RC slab resisting compression, flexural strength and stiffness of the beam can be increased due to "composite action". At the same time despite these advantages, composite action increases the strain at the beam bottom flange and it might affect the plastic rotation capacity of beam.

However, in current structural design, rotation capacity of composite beam is supposed to be equal to the bare steel beam. Furthermore, in the case of composite beam-to-RHS column connection, due to effects of out-of-plane deformation of column flange, stress condition of web in the composite beam might be more severe, comparing with bare steel beam. In fact in the case of composite beam, web connection has to play two different roles: transmission of flexural capacity (same as bare steel beam) and transmission of axial force resulted from concrete slab compression force.

According to past researches, effect of out-of-plane deformation was mostly considered based on the concern regarding reduction of web flexural capacity. This research is conducted to clarify the structural condition of web, not only based on the flexural capacity considerations, but also by considering the effect of axial force subjected to the web connection. Actually it is already known that increase of RHS column B/t ratio results to movement of neutral axis (N.A) toward top flange, but according to this research approach location of N.A can be shown by interaction of different B/t and different axial force (N). Simultaneous considerations for effects of axial force (N) and B/t ratio could be shown by this approach.

Elasto-plastic behavior of composite beam is studied through a series of experimental tests on full scale sub-assemblies. As the first part of the research, behavior of composite beams which were connected to RHS columns with two different width-to-thickness ratios (B/t) of 29 and 22 are

studied. Bare steel beam specimen with width-to-thickness ratio of 29 was also prepared as a reference for beam behavior.

It is shown that reduction of RHS column width-to-thickness ratio in composite specimens, did not result to considerable difference in the elastic stiffness and actual plastic strength in positive flexure, but considerable improvement in the cumulative rotation capacity and 10% increase of beam ultimate strength was observed. Investigations about the contribution of concrete slab on the different strain condition of upper and lower flanges are conducted. Experimental test results revealed that following to occurrence of bearing crush in the concrete slab of specimen with smaller width-to-thickness ratio, reduction of strain of lower flange happen. This behaviour resulted to considerable effect in the improvement of rotation capacity.

Differences in the occurrence of damages in the steel beam and concrete slab were studied, especially focusing on flange fractures which mainly determine rotation capacity of beams. It was observed that in all specimens regardless of existence of concrete slab or width-to-thickness ratio of RHS column, first crack initiation was occurred at the root of weld access hole (scallop). For the composite beam specimen with B/t=29 this occurred at earlier stage with higher progress, comparing with the bare steel beam connected to the RHS column with same B/t ratio and composite beam connected to RHS column with smaller B/t =22. Final failure pattern was determined by propagation of this crack. Composite action resulted to 1.27 times increase of actual plastic strength and 1.92 times increase of stiffness in positive flexure, comparing with bare steel beam connected to RHS column with same width-to-thickness ratio. But cumulative rotation capacity of composite beam reduced to half of bare steel beam. Strain study in the first cycle of +2.0 θ_p , showed that composite action increased the strain amount of lower flange 2.2 Times of bare steel beam. This strain condition resulted to early crack initiation with higher progress, and finally reduction of rotation capacity of composite beam.

Reduction of RHS column width-to-thickness ratio (B/t) to 22, did not result to considerable difference in the actual plastic strength and elastic stiffness in positive flexure comparing with CB-29, but considerable improvement in the cumulative rotation capacity observed which was 4.2 times of composite beam with B/t ratio of 29.

Strain behavior study in the specimen with smaller B/t=22 showed that in the first cycle of +2.0 θ_p , the amount of strain in the lower flange was 55% smaller than B/t=29 composite specimen and 20% more than bare steel beam, but after the occurrence of sever crush in the concrete slab, sudden reduction of strain in the lower flange happened. This resulted to smaller rate of strain increase, even comparing to bare steel beam. Finally, this resulted to higher rotation capacity of specimen.

Following the experimental test observations of three full-scale beam-to-RHS column sub-assemblies, numerical investigation is conducted to understand the mechanism of mechanical behavior and effect of out-of-plane deformation on the elasto-plastic behavior of composite beam.

In order to study the stress and strain transfer mechanism of composite beam, finite element analysis was conducted. Finally, in this investigation a model was proposed in order to evaluate ultimate strength of composite beam. According to that model, proposed equations for evaluation of web connection ultimate flexural strength could show both effects of RHS column width-to-thickness ratio and concrete slab axial force on reduction of composite beam flexural strength simultaneously. This model is prepared for the conditions which the neutral axis remain in the beam web. After the neutral axis exceeds the boundary and enters the upper flange, modification in the stress condition of upper flange is needed. Accuracy of the model is verified by correspondence between the test results and model and good agreement was observed for specimens which the web axial force did not exceed the boundary.

According to considerable reduction of rotation capacity in the composite beam connected to RHS column with large width-to-thickness ratio 29 and in order to prohibit strain concentration on the lower flange, it is recommended to avoid composite action. Application of slit between the column face and concrete slab is recommended in this width-to-thickness ratio which has been proposed by Tagawa et al. The behavior of this type of composite beam is studied in the next part of this research.

According to that proposal, slit may reduce the composite action effects, but comprehensive investigations regarding contribution of studs which are located on transverse beam and loading beam in the composite action has not been carried out yet.

Experimental test results showed that existence of slit could reduce the strain on the lower flange. But improvement of behaviour regarding rotation capacity could be obtained by the removal of studs at the vicinity of connection.

Finite element study showed that studs of transverse beam contribute in the composite action. It could be explained that these studs provide constraint condition for the slab and it may be the reason of contribution in the composite action. It is shown that roll of studs of transverse beam are similar to bearing stress transfer between slab and column face. Considering the actual seismic loading, removal of studs at the vicinity of connection on both loading and transverse beam is recommended.

Academic Supervisor: Hisashi NAMBA

氏名	Mohammadreza Eslami		
論文 題目	Elasto-Plastic Behavior of Composite Beam Connected to RHS Column 角形鋼管柱に接合される合成梁の弾塑性挙動		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	准教授	難波 尚
	副 査	教授	多賀謙蔵
	副 査	教授	田中 剛
	副 査	教授	谷 明勲
	副 査		
要 旨			
鋼骨組では、鉄骨梁と床スラブをスタッドにより一体化した合成梁として設計・施工されるのが一般的である。合成梁が正曲げを受ける際、鉄骨梁と床スラブの合成効果により、純鉄骨梁に比べ剛性および耐力が上昇するという構造上の利点がある。その一方で、合成梁の中立軸は鉄骨梁の図心よりも上方に移動することになり、これにより梁下フランジの歪が増加し、梁の塑性変形能力を低下させる可能性がある。特に柱に角形鋼管を用いた場合では、梁ウェブ接合部で面外変形が生じ、梁フランジに2次的な歪集中が生じるため、設計の際にこの影響を考慮する必要があるが、角形鋼管柱に接合される合成梁に関する梁ウェブ接合部の面外変形の影響については未だ十分な知見が得られていない。 本研究では、角形鋼管柱に接合される合成梁の弾塑性挙動に及ぼす柱幅厚比の影響を明らかにすると共に、柱と床スラブの間にスリットを設けた合成梁の塑性変形能力の改善効果を検討するものである。 第1章では、研究の目的および背景を示している。 第2章では、角形鋼管柱に接合される合成梁の弾塑性挙動に及ぼす柱幅厚比の影響を実験により検討している。試験体は、角形鋼管柱(□-350x12,16 (BCR295))と梁(H-500x200x10x16 (SM490A))で構成されるT字形部分骨組で、柱幅厚比を22と29の2種類とした合成梁試験体の他に、比較用として柱幅厚比が29の純鉄骨梁試験体の計3試験体について、正負漸増交番繰返し載荷で実験を実施した。いずれの試験体も梁フランジ溶接部にはスカラップ工法を採用しており、スカラップ形状は35R+10Rの複合円形とした。いずれの試験体も梁下フランジのスカラップ底を起点とする延性亀裂進展により破壊に至ったが、合成梁試験体については、柱幅厚比の違いにより、柱近傍のスラブの支圧損傷に相違が生じており、柱幅厚比が22の試験体では、柱近傍のスラブで支圧破壊が生じた後に、梁下フランジの破断が生じたのに対し、柱幅厚比が29の試験体では、スラブの支圧破壊が生じることなく、梁下フランジの破断が生じた。梁の累積塑性変形能力は柱幅厚比が29の合成梁試験体の累積塑性変形能力は10.7で、同幅厚比の純鉄骨試験体の累積塑性変形能力は20.4となり、スラブとの合成梁により累積塑性変形能力は1/2に低下した。一方、柱幅厚比が22の合成梁の累積塑性変形能力は45.3となっており、合成梁において幅厚比が小さくなることで十分な塑性変形能力を発揮できることを確認している。これらの原因として、i) 正曲げ時の梁端部におけるフランジの歪がスラブとの合成効果により、梁上フランジでは拘束され、梁下フランジでは純鉄骨梁の2倍程度に上昇すること、ii) 合成梁においても柱幅厚比を小さくすることで、梁フランジの歪集中が緩和されること、iii) 柱近傍のスラブで支圧破壊が生じると、梁上フランジの圧縮歪が増加し、梁下フランジの引張歪の進展が減少することを論述している。 第3章では、降伏線理論に基づく極限解析により、角形鋼管柱に接合される合成梁が正曲げを受ける際の終局曲げ耐力を検討するとともに、有限要素解析により接合部の応力伝達メカニズムならびに歪性状を検			

氏名	Mohammadreza Eslami
耐し接合部を梁図心位置に引張軸力と曲げモーメントが作用する独立な部位と扱うことで、梁ウェブ接合部の曲げ耐力に及ぼす合成効果の影響の定量化を可能としている。梁ウェブの終局曲げ耐力を得るためには、梁終局時に梁ウェブが負担する軸力が必要となるが、これについては、スラブの支圧応力が終局状態に、上下フランジのそれぞれは、降伏耐力および終局引張耐力に達すると仮定し、軸方向の釣合条件を用いて算出している。最終的な正曲げ時の合成梁の終局耐力は、得られた応力状態を基に、スラブおよび上下フランジ、梁ウェブ接合部の耐力の和で評価しており、第2章の実験結果の他に既往の実験結果と基本的に良い対応を示すことを確認している。有限要素解析による検討より、極限解析で導出した梁ウェブ接合部に作用する軸力と曲げ耐力の相関関係を精度よく予測できることを示したほか、柱フランジの幅厚比が大きくなることで、梁ウェブ接合部の伝達できる軸力および曲げモーメントが著しく低下することを明らかにしている。梁端の歪性状に関する検討より、梁ウェブ接合部の曲げ耐力の低下が曲率に与える影響は少なく、梁ウェブ接合部の軸力伝達性能の低下による塑性後の中立軸の上昇に起因する下フランジの歪増加の影響が大きいことを明らかにした。本極限解析により得た合成梁の終局耐力を合成梁の全塑性モーメントで除した接合部係数を用いることで、合成梁の塑性変形能力を純鉄骨梁の累積塑性変形倍率と接合部係数の関係と連続的に評価できることを示した。 第4章では、角形鋼管柱に接合される合成梁の塑性変形能力を改善することを目的に、柱と床スラブの間にスリットを設けた合成梁の実験および有限要素解析を実施し、その効果を検討している。 実験に供した試験体は、第2章の柱幅厚比が29の合成梁試験体に、柱とスラブの間に50mmのスリットを設けたもので、スタッド配置が第2章の試験体と同じで、柱直近のスタッド位置が柱表面から175mmとしたものと、柱直近のスタッド位置を475mmに変化させたものの2種類である。スリットを設けた合成梁試験体では、梁端部における上フランジと下フランジの歪の大きさが概ね等しくなり、下フランジの引張歪の大きさは、通常の合成梁の1/2程度に低下し、概ね純鉄骨試験体の歪と等しくなることを示した。柱直近のスタッド位置を柱表面から475mmに遠ざけたスリットを有する合成梁では、累積塑性変形倍率は20.5となり、純鉄骨梁と同程度の性能で、通常合成梁の2倍弱に増加することを示した。また有限要素解析によりスリットを有する試験体のスタッド配置の影響を検討し、直交梁のスタッドのせん断抵抗が大きい場合には、スリットによる十分な下フランジの歪の緩和につながらないことを明らかにし、柱表面から梁せいの範囲にはスタッドを配置しない方が良いと結論付けている。 第5章では、ファイバ断面を有する応力型の線材要素により、接合部近傍の梁ウェブの断面を極限解析結果より得られる等価断面に置換し、柱フランジの面外変形の影響を考慮した合成梁の曲げ挙動の実験結果を精度よく再現できるモデルを提案している。本要素では、梁端部の歪を陽に評価することが可能であるため、梁の累積損傷度をより合理的に可能とするものである。 第6章では、第2章から第5章で得られた知見を整理して示している。 本研究は、角形鋼管柱に接合される合成梁の弾塑性挙動について、柱幅厚比が歪性状および変形能力に及ぼす影響を実験により示した後、幅厚比の大きい角形鋼管柱に接合される合成梁について、柱とスラブの間にスリットを設けることで下フランジの歪を緩和し純鉄骨梁の場合と同程度の塑性変形能力が得られることを実験及び有限要素解析により確認している。最終的に合成梁が正曲げを受ける際の終局曲げ耐力の評価方法を提案しており、角形鋼管柱に接合される合成梁の設計法を構築していく上で重要な知見を得たものとして、価値ある集積である。提出された論文は工学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者のMohammadreza Eslamiは、博士（学術）の学位を得る資格があると認める。	