

平成 21 年 5 月 7 日現在

研究種目：若手研究（A）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19686034
 研究課題名（和文） 床スラブの損傷状況に基づいた梁端塑性変形量の被災後評価に関する基礎研究
 研究課題名（英文） Evaluation of Plastic Rotation at the Beam-End based on Damage to Concrete Slab after Earthquakes
 研究代表者
 吉敷 祥一（KISHIKI SHOICHI）
 東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教
 研究者番号：00447525

研究成果の概要：

現在、首都圏直下の大地震の発生が危惧されており、すでに住居としてだけでなく経済活動の場として重要な役割を担っている建築構造物が多大な被害を受ければ、甚大な経済損失が引き起こされる。このような被害を最小限に抑えるためには震災後に建築構造物の機能を如何に早く復旧させることができるかが重要となるが、それ以前に建築構造物がどの程度の損傷を受けているかを把握しておく必要がある。本研究課題では被災後の鋼構造建築物が有する耐震性能(残存耐震性能)を簡便に評価する手法を構築するための基礎研究として、鋼部材の塑性変形量と床スラブのひび割れ損傷の関係の基礎データを得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
年度			
総計	6,800,000	2,040,000	8,840,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：建築構造・材料、鋼構造、床スラブ、損傷評価

1. 研究開始当初の背景

我が国は世界でも有数な地震発生国であり、過去の大地震によって多くの人命が失われた。研究者や構造設計者が地震被害から学ぶべきことは多く、建築構造物の耐震技術は震災の度に発展してきたと言える。しかし、ある技術が発展すると周りの技術や社会の認識との間にはギャップが生じることがある。耐震技術においてもすべてが社会に受け入れられながら発展してきたわけではない。例えば 1981 年にいわゆる新耐震設計法が施

行され、骨組の塑性変形能力を考慮した耐震設計が専門家の間では一般化されてきたが、人命さえ守られれば建物は使えなくなっても構わないという考え方は必ずしも社会の一般常識とはならなかった。近年は地震時の人命保護のみならず、建物の財産・機能保持を目的とした損傷制御技術が注目されてきている。もちろん耐震技術が構造設計者に浸透する段階においてもギャップは生じる。大学や専門学校では構造力学などを重視した基礎教育がなされ、大学院では高度化・細分

化された研究課題に携わるため、実務設計の教育は設計者となって初めて行われることが多い。日々の設計業務に翻弄されれば、構造計算プログラムがブラックボックスのまままで使用され続けることも珍しくない。

建築構造物の耐震技術には研究者(大学・研究所)、構造設計者(企業)、国民(住民・施主)が関わっている。研究者と構造設計者の関係を考えると、研究者は①研究論文あるいは設計指針によって構造設計者に最新の研究成果を公表でき、構造設計者は②産学協同などにより実設計における問題点を研究者に提起できる。次に構造設計者と国民の関係では、国民は③建築物の発注の過程で構造設計者に自らの意志を伝えることができ、構造設計者は④建築構造物の性能表示を通してそれらの要望に答えることができる。しかし、研究者と国民の間には耐震技術に関してほとんど接点がなく、最新の研究成果は構造設計者を介して国民に伝わっている。これは高度化された耐震技術をそのまま国民に伝えることは難しく、耐震技術は構造設計などの具体例を通して咀嚼される必要があるためであろう。このような世の中の仕組が最新の耐震技術と社会の認識との間にギャップを生じさせていると考えられる。

現在、関東地震、東海地震、南海地震などの大地震の発生が危惧されており、首都圏直下の大地震が発生すれば、すでに住居としてだけでなく経済活動の場として重要な役割を担っている建築構造物が多大な被害を受け、甚大な経済損失が引き起こされる。このような被害を最小限に抑えるためには震災後に建築構造物の機能を如何に早く復旧させることができるかが重要となるが、それ以前に建築構造物がどの程度の損傷を受けているかを把握しておく必要がある。しかしながら、都市の建築構造物の数に対して専門家の数は圧倒的に少ない。国民が自らの手で所有する建物の損傷の程度を把握する評価手法が構築されれば、より効率的な復旧作業が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、国民が直接的に理解し、使用できる耐震問題に関わる技術を提示することである。本研究課題では震災後に建築構造物が保有する耐震性能(残存耐震性能)に着目し、国民が所有する建築構造物の残存耐震性能を自ら判断できる簡便な評価手法を構築するための基礎データを得る。

建築物の構造躯体は、木、鉄筋コンクリート、鉄によって造られる。木造建築物では、その大半を占める戸建住宅を対象に非構造部材の損傷と構造躯体の最大変形量を結び付けようとする研究が古くから行われてきた。鉄筋コンクリート造建築物においても、

コンクリート表面のひび割れという比較的明確な形で損傷が現れるため、ひび割れの種類(曲げもしくはせん断)とその大きさによって震災後の損傷評価が可能である。一方、鋼構造建築物では、鋼部材に施された塗装の剥離などを目安に塑性化の程度を判断するのが限界であり、地震時に受けた損傷の程度を定量的に評価することは難しい。最近では硬度計による損傷評価が行われ始めているが、これらの研究成果を国民が直接的に把握することは難しい。本課題では国民が直接的に使用できる鋼構造建築物の損傷評価方法を構築するため、評価基準として床スラブのひび割れ損傷に着目する。これまでに鋼部材の塑性変形量と床スラブのひび割れ幅の関係に着目した実験はほとんど行われていない。本研究課題では被災後の建築物が有する耐震性能(残存耐震性能)を簡便な評価手法を構築するための基礎研究として、鋼部材の塑性変形量と床スラブのひび割れ損傷の関係の基礎データを得る。

3. 研究の方法

床スラブの損傷状況と鋼部材の塑性変形量の関係を把握するためには床スラブを含めた鋼部材の繰り返し載荷実験が必要であり、この載荷実験が本研究の骨格をなす。また、2007年9月より開始される実大鋼構造建築物の振動実験に参加し、床スラブの損傷状況を観察することで、実大鋼構造建築物における鋼部材の塑性変形量と床スラブの損傷状況に関するデータを補填する。

試験体セットアップを図1に示す。実験は2シリーズからなる。第1シリーズの実験に用いた試験体は柱梁の反曲点位置で切り出したト字形の部分骨組であり、柱端部をピン治具で支持して梁の自由端に強制変形を与えて繰り返し載荷を行った。第2シリーズの実験に用いた試験体は柱梁の反曲点位置で切り出した十字形の部分骨組であり、柱端部をピン治具で支持して左右の梁の自由端に強制変形を与えて繰り返し載荷を行った。実験パラメータとしては床スラブのひび割れ状況に影響を及ぼすと考えられる柱梁の断面形状(降伏機構の違い)、使用鋼材(強度の違い)、デッキプレートの有無・向きとした。これまでに鋼部材の塑性変形量と床スラブ

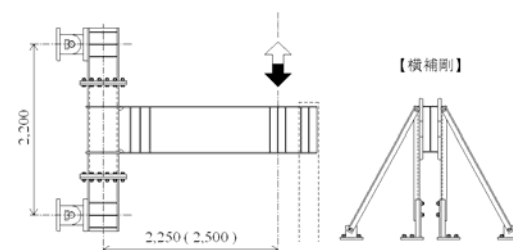


図1 実験セットアップの概要

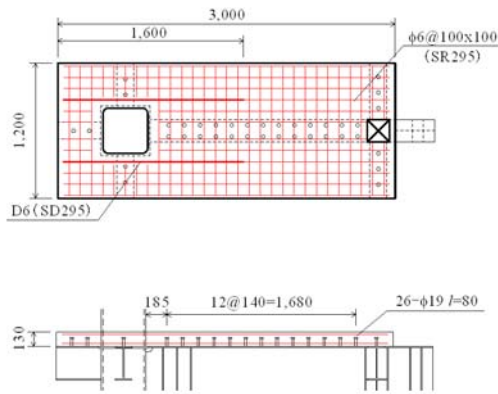


図2 試験体 NO.1、NO.2

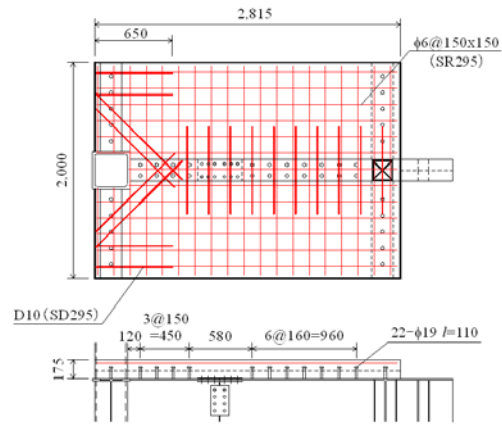


図3 試験体 NO.3、NO.4

のひび割れ損傷の関係に着目した実験は行われておらず、床スラブ付き鋼部材の繰り返し載荷実験は本研究課題の骨格をなす。

4. 研究成果

【床スラブのひび割れ状況】

本研究ではまず、床スラブの損傷状況と鋼部材の塑性変形量の関係に関する基礎データを得るため、床スラブを有するト字形部分架構の繰り返し載荷実験を行った。実験パラメータは、梁端溶接部におけるスカラップの有無と、床スラブの有無とした。試験体概要を図2と図3に、試験体一覧を表1に示す。

実験では床スラブの損傷状況を把握するため、ひび割れ発生状況を記録するとともにクラックスケールを用いてひび割れ幅の計測を行った。床スラブのひび割れ状況とひび割れ幅の変動を図4に示す。図中のひび割れ状況は、試験体 NO.1、NO.2 については部材角・1/50rad・到達時、試験体 NO.3、NO.4 については部材角・2θ_p (約・1/75rad.) 到達時に発生したものであり、ひび割れ幅が0.4mmを越えるものを太線で示した。なお、ひび割れ幅の計測は図中の床スラブを4~6名で分担し、それぞれの観察者が対象とするひび割れの中で最も幅の大きな箇所を目視で選定して行った。また、表示の基準となっているひび割れ幅0.4mmは、屋内における最大ひび割れ制御目標値(0.35~0.40mm)を参考とした。

試験体 NO.1 と NO.2 の床スラブでは、床スラブ全体にひび割れが発生していることが

表1 試験体一覧

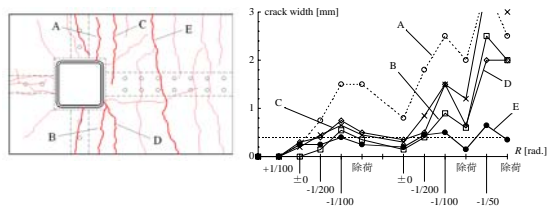
	スラブ	スカラップ	梁断面
NO.1_B	—	改良	B.H-600x200x9x12
NO.1_C	等厚スラブ	改良	B.H-600x200x9x12
NO.2_B	—	改良	B.H-600x200x9x12
NO.2_C	等厚スラブ	改良	B.H-600x200x9x12
NO.3_B	—	ノンスカ	H-400x200x8x13
NO.3_C	合成デッキ	ノンスカ	H-400x200x8x13
NO.4_C	合成デッキ	改良	H-400x200x8x13

特徴的である。ひび割れ幅が0.4mmを超える大きなひび割れは、梁端側の柱角部からスパン直交方向に向かって発生している。また、梁の端部から梁せい(600mm)程度離れた位置にも大きなひび割れの発生が確認できる。一方、試験体 NO.3 と NO.4 の床スラブでは、梁端部の柱角部からのひび割れは小さく、試験体 NO.1 や NO.2 に比べると床スラブ全体に発生しているひび割れが少ない。この試験体は梁端部から645mm離れた位置に長さ410mmの梁継手を有するが、ひび割れ幅が0.4mmを超える大きなひび割れは梁継手の前後に発生している。なお、梁端側の大きなひび割れは、試験体 NO.1 や NO.2 と同様、梁の端部から梁せい(400mm)程度離れた位置とほぼ一致している。

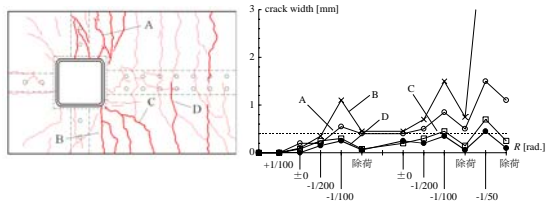
ここで対象とした2種類の床スラブの大きな違いはデッキプレートの有無とスラブ幅である。特にスラブ幅については、試験体 NO.1 と NO.2 では柱幅400mmに対してその3倍の1200mmとなっている。スラブ幅の小さな床スラブにおいてのみ、梁端側の柱角部から大きなひび割れの発生が確認できたことから、このひび割れは床スラブの幅が不十分であったことが影響していると考えられる。したがって、ここで対象とした2種類の床スラブに共通する大きなひび割れの発生位置は、梁の端部から梁せい程度離れた位置となる。

【床スラブのひび割れ状況】

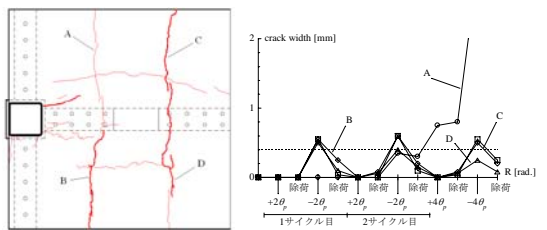
次いで、ひび割れ幅の変動について考察する。試験体 NO.1 と NO.2 のひび割れ幅の変動を比較すると、NO.1 のひび割れAを除けば、両試験体のひび割れ幅にさほど大きな違いは見られない。特に梁の端部から梁せい程度離れた位置のひび割れ(NO.1 のE、NO.2 のD)を比較すると、ひび割れ幅の大きさはほぼ等しく変動している。両試験体の大きな違いは使用鋼材の強度であり、例えば-1/50rad. 到達時の耐力は試験体 NO.2 の方が3割も大きい。床スラブ全体に生じているひび割れ幅は



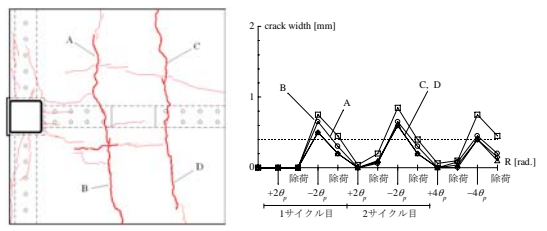
(a) 試験体 NO. 1



(b) 試験体 NO. 2



(c) 試験体 NO. 3



(d) 試験体 NO. 4

図4 床スラブのひび割れ状況

むしろ試験体 NO. 1 の方が多く、梁の端部から梁せい程度離れた位置におけるひび割れ幅に着目すれば、使用鋼材の強度の違いがひび割れ損傷に及ぼす影響は小さい。試験体 NO. 3 と NO. 4 についても、梁継手の前後に発生した大きなひび割れ(A~D)の変動の差は小さく、ひび割れ幅の大きさはほぼ等しく変動している。梁の端部から梁せい程度離れた位置のひび割れ(NO. 3 の B、NO. 4 の B)についても同様の傾向が見取れる。

【部材角に対するひび割れ幅の変動】

ひび割れ幅の部材角に対する変動を考察する。すべての試験体について、梁の端部から梁せい程度離れた位置に発生したひび割れに着目し、ひび割れ幅と部材角の関係を図5に示す。また、柱-スラブ間にできたすき間についても部材角との関係を図6に示す。

試験体 NO. 1 と NO. 2 では部材角の増加に伴ってひび割れ幅が大きくなっており、ひび割れ幅と部材角との間に相関関係が見られる。一方、試験体 NO. 3 と NO. 4 では部材角が・2

θ_p から $4\theta_p$ に増加してもひび割れ幅の変化はほとんどなく、梁の部材角とひび割れ幅の間には明確な相関関係は見られない。

次いで柱-スラブ間に生じたすき間と部材角との関係を見ると、床スラブの種類によって傾きに違いがあるものの、梁の部材角と柱-スラブ間のすき間の間には明確な相関関係が見られる。また、床スラブに生じるひび割れ幅に比べるとすき間の絶対量は大きく、梁端部の塑性回転量を簡便に評価するための指標として扱いやすいと言える。

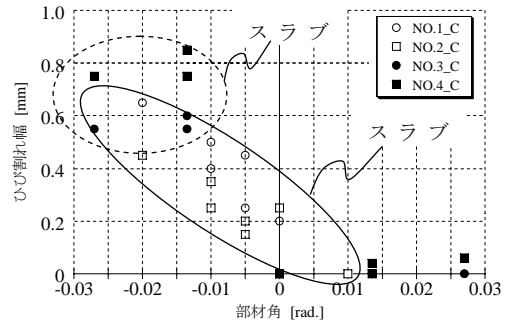


図5 ひび割れ幅と部材角の関係

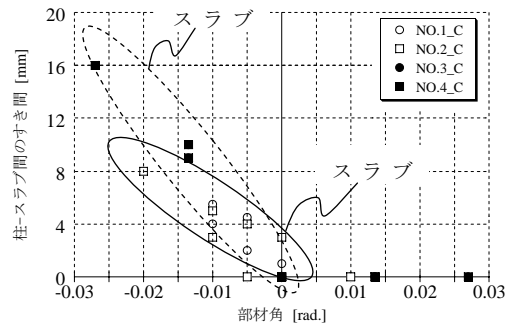


図6 柱-スラブ間のすき間と部材角の関係

【実大震動実験におけるひび割れ観察】

2007年9月には兵庫県三木市のE-ディフェンスと呼ばれる3次元振動実験施設において行われた実大4層鋼構造建築物の振動破壊実験に参加し、梁端部の塑性変形量と床スラブに生じるひび割れ損傷の状況を観察した。実験は入力波として1995年の兵庫県南部地震で記録されたJR鷹取波が採用され、加速度倍率を20、40、60、100%倍と大きくして試験体を崩壊に至らしめた。この実大実験では試験体は第1層の柱頭・柱脚に局部座屈が発生して層崩壊に至ったため、梁はほぼ弾性範囲に留まり、損傷は小さいものであった。しかしながら、実大鋼構造建物における床スラブのひび割れ状況と梁端部の塑性変形量に関する実験データを得ることができ、特に実大鋼構造建築物において観察された床スラブの損傷状況は同じ仕様で行ったト字形部分架構における床スラブの損傷状況とが対応することが確認できた。

【耐力比をパラメータとした実験】

次いで、実大震動実験では梁端降伏より柱梁接合部パネルが先行して降伏したことを受け、本研究課題で行った実験では明らかにできなかった耐力比をパラメータに設定し、床スラブを有する鋼部材の繰り返し載荷実験を行った。試験体は前年度と同様の柱と梁を反曲点位置で切り出した十字形の部分架構であり、実験は試験体の柱端部をピン治具で支持した状態で梁の自由端に強制変位を与えて行った。実験パラメータは、デッキプレートの設置方向、梁-パネル耐力比とし、計4体の試験体を用意した。実験の結果、床スラブの損傷状況にデッキプレートの設置方向が及ぼす影響は小さく、床スラブに発生した最大ひび割れ幅は梁端部の塑性変形量に比例して成長することが確認できた。また、梁端部よりも柱梁接合部パネルの降伏を先行させた試験体では、床スラブに発生した最大ひび割れ幅はパネルの塑性変形が大きくなるにつれ成長することが分かった。

さらに鋼製梁とコンクリートスラブを繋結するスタッドコネクタの面内せん断挙動を把握するため、スタッドコネクタの寸法とその配置方法をパラメータとした押し抜き試験を行った。得られた実験結果を既往の数値解析モデルと比較するとともに、スタッドコネクタの面内せん断挙動が柱梁接合部パネルの弾塑性挙動に及ぼす影響を考慮できる力学モデルを構築した。この力学モデルを用いることで、数値解析において床スラブの存在による柱梁接合部パネルの見かけの剛性・耐力の上昇を再現できることが分かった。本研究課題では載荷実験を通して床スラブの損傷状況と鋼部材の塑性変形量の関係に関する基礎データを得ることができ、また床スラブの存在が鋼製梁、柱梁接合部パネルの力学挙動に及ぼす影響を再現できる力学モデルを構築することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

①角野大介、吉敷祥一、薩川恵一、山田 哲：床スラブの存在が柱梁接合部パネルの力学性状に与える影響(その1 床スラブ付十字形架構実験)、2008年度日本建築学会関東支部研究発表会、2009年3月6日、東京

②角野大介、吉敷祥一、薩川恵一、山田 哲：床スラブの存在が柱梁接合部パネルの力学性状に与える影響(その2 耐荷機構の考察と数値解析)、2008年度日本建築学会関東支部研究発表会、2009年3月6日、東京

③吉敷祥一、山田 哲：梁端塑性変形量と床

スラブの損傷状況に関する考察、2007年度日本建築学会関東支部研究発表会、2008年3月8日、東京

④吉敷祥一、山田 哲：床スラブの損傷状況に基づいた梁端塑性変形量の評価、日本地震工学会・大会-2007、2007年11月13日、東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉敷 祥一 (KISHIKI SHOICHI)
東京工業大学・応用セラミックス研究所・助教
研究者番号：00447525

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし