

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02283

研究課題名(和文) 端部スリットを有する腰壁・垂れ壁付き鉄筋コンクリート造架構の性能評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on performance evaluation of reinforced concrete frame structure with spandrel and/or hanging walls having structural gaps at both ends of beam

研究代表者

田才 晃 (Tasai, Akira)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・名誉教授

研究者番号：40155057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄筋コンクリート造建物における非構造壁(構造スリットを有する腰壁や垂れ壁など)が、梁部材や架構全体の構造性能に及ぼす影響を検証した。既往研究では非構造壁が梁部材の変形を拘束することで、部材の靱性能を損なう場合がある。そこで、せん断破壊型の梁部材や、接合部強度が低い十字形架構を対象とした静的載荷実験により、梁に取り付く非構造壁の影響を検証した。非構造壁により梁のせん断強度や接合部強度を損なう可能性は少ない一方で、梁部材の変形挙動やひび割れ性状が変化することが分かった。十字形架構を非線形FEM解析で追跡可能であること、梁端部の補強筋に部材のせん断補強効果があることなども示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄筋コンクリート造建物は、様々な構成要素から成り立っている。本研究で対象とした非構造部材は、架構への悪影響を避けるために端部に構造スリットが設けられるが、これらが梁に与える影響を完全に無視することはできない。学術的には、本研究の実験範囲では、大局的には架構の耐力変形性能に対して悪影響はないことが確認できたが、変形挙動やひび割れ性状、部材内の応力状態(主筋の応力分布)に変化が表れたことから、条件によっては構造性能に悪影響を及ぼす可能性がある。社会的には、これらの実証範囲を踏まえて構造設計に反映されるのが望ましく、範囲を超える場合は慎重に判断するとともに、実証データを蓄積していく必要もある。

研究成果の概要(英文)：In this study, the effects of non-structural walls (spandrel or hanging walls with structural gaps, etc.) on the structural performance of reinforced concrete beams or frames were investigated. From previous studies, the non-structural walls prevented flexural deformation of beams and decreased their ductility capacity. Therefore, the influences of non-structural walls were verified by static loading tests of beams or beam-column joints. The beams were designed as failed by shear and the beam-column joints had lower flexural capacity. Though it was found that the non-structural walls didn't decrease the capacities of beams or beam-column joint, the deformation behavior and cracking properties of the beams were changed by the non-structural walls. It was also shown that the nonlinear FE analysis could trace the behaviors of the beam-column joint, and that the reinforcement at the beam ends made shear strength increase.

研究分野：建築構造・材料，構造工学，鉄筋コンクリート構造

キーワード：鉄筋コンクリート造建物 構造スリット 腰壁，垂れ壁 梁 十字形柱梁接合部 端部補強 柱梁曲げ耐力比

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造物では、非構造壁と呼ばれる構造要素と見なさない壁が柱や梁に取り付くことが多い。新耐震設計法開始以降、梁端部において、柱との間にスリットを設け、柱の短スパン化を避ける仕様が多数ある。ところが、このように梁部材端部にスリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の静的載荷実験において、曲げ降伏後に補強筋の破断を伴って脆性的に破壊する事例が確認された。これは、腰壁・垂れ壁の存在により、梁の曲げ変形を拘束し、壁と反対側に応力・変形が集中することが要因と考えられ、梁の靱性能に期待する耐震設計法にとって極めて重大な結果である。この実験事例では、曲げ降伏後の靱性能に関して、部材端部の補強筋を増すことやスラブが取り付くことによりある程度改善できることが確認されたが、補強範囲や補強量の定め方までは確立できていない。つまり、現行の耐震設計法では考慮されていない、曲げ降伏前のせん断耐力の評価方法、あるいは補強量増量によるせん断耐力や、曲げ降伏後の靱性能の向上効果の評価方法が大きな課題である。

一方、柱梁接合部には、接合部曲げ降伏という破壊が存在することが確認されている。この破壊が生じると、梁降伏形全体降伏機構で設計した保有水平耐力が発揮されず、地震時の応答変形が設計時の想定より増大してしまう危険を伴う。この現象に対して、端部にスリットを設けて腰壁・垂れ壁が付くことで梁端部に応力・変形が集中することが、接合部を含む架構の挙動に悪影響を及ぼすことが予想される。柱梁曲げ強度比を等しくして腰壁・垂れ壁の有無を変動した場合に、腰壁・垂れ壁付き架構の方が性能が低下する可能性があり、このような現象における腰壁・垂れ壁が影響する程度を把握することは極めて重要である。つまり、腰壁・垂れ壁付き梁が接合部性能に及ぼす影響が未確認であること、そしてそもそも、このような視点での検証がこれまでにされてきていない点が、もうひとつの大きな課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の2点に整理できる。すなわち、鉄筋コンクリート構造において、腰壁（垂れ壁）付き梁部材のせん断破壊時の挙動を明らかにし、強度の評価と補強方法、および靱性能の改善方法を見出すこと、およびこのような梁と通常の柱で構成される柱梁接合部を含む架構の耐震性能を明らかにすること、である。

従来スリットを設けることは、架構全体の耐震性を向上するための有効な手法と考えられており、腰壁や垂れ壁の梁への悪影響は指摘されていない。しかしながら変形性能の低下と降伏後の脆性的な破壊が生じる事例が確認された以上、着目すべきであることは明らかである。そして、これまで行われてこなかった、破壊メカニズム解明のため、あるいは補強方法の検証のための実験は、本研究の中心にあって極めて独自性の強い検討項目である。既往研究において靱性能の向上に効果があったのは、ヒンジ領域の補強筋の増量とスラブの存在である。この点をさらに発展させ、特に補強量と補強範囲の明確化も本研究独自の検討項目といえる。また、鉄筋コンクリート造柱梁接合部の破壊性状については、前述のとおり新たな破壊メカニズムに着目されるようになってきているが、これまでのところ基本的な形状を対象とした検討が主である。しかしながら、多くの建築物で標準的に存在する腰壁・垂れ壁が取り付く架構についての検証は皆無といってよい。特に、接合部の新たなメカニズムへの着目は、梁や柱単体での検証には限界があることをも示している。すなわち、目的のひとつとして行う梁単体でのせん断破壊時挙動や補強効果は、接合部架構において検証されなければ実建物への適用に至らないといえ、接合部実験を行うことも本研究における重要な項目である。

3. 研究の方法

(1) RC 梁部材に関する実験的検証 (2019 年度)

スリットを有する腰壁・垂れ壁が RC 梁部材のせん断強度に及ぼす影響の検証を目的として、腰壁・垂れ壁の有無、部材端部のせん断補強筋量を変動因子とした試験体の静的載荷実験を行った。試験体の変数一覧を表 1 に示す。垂れ壁のない矩形断面梁を 1 体、スリットを有する垂れ壁付き梁を 3 体計画した。垂れ壁付き梁 3 体については、梁両端部のせん断補強筋を変動した。1 体は矩形断面梁と同じ配筋量とし、他の 2 体は補強量を一般部の 1.5 倍、2.0 倍となるように変動した。

実験は、両端にスタブを設けた梁部材試験体を、90 度回転して垂直に配置し、上下に位置するスタブの平行を保ちながら梁部材に逆対称曲げモーメント分布を作用させるようにして正負繰返し載荷した。載荷方法を図 1 に、試験体の配筋状況の例を図 2 にそれぞれ示す。

(2) RC 柱梁接合部架構に関する実験的検証 (2020 年度、2021 年度)

2020 年度と 2021 年度には、スリットを有する腰壁の有無を変数として、梁と柱からなる十字形接合部部分架構の静的実験を行った。柱梁接合部の損傷に及ぼすスリットを有する壁の影響を検証するため、柱梁接合部の各種耐力余裕度を変動して、壁の有無と耐力余裕度 2 水準の計 4 体を計画した。試験体一覧を表 2 に示す。接合部にかかわる耐力余裕度として、接合部せん断余

裕度^{文献1)}、接合部曲げ降伏に対する強度低下率^{文献2)}を、2020年度は1.3~1.5程度、2021年度はいずれも1.1程度となるように、柱、梁の主筋強度を変動して設定することとした。

実験は、地震力を受けるラーメン架構の反曲点を想定する位置(スパン中央)で切り出した十字形試験体に対して、梁両端をピンローラー支持し、柱頭に正負繰返し载荷を行った。柱軸力は、軸力比0.1程度の一定値とした。载荷装置を図3に、試験体の配筋の例を図4にそれぞれ示す。また、試験体を対象として非線形FEM解析を行い、解析精度の検証を行った。

表1 梁部材実験の試験体一覧(2019年度)

試験体名	BDL	SDL1	SDL2	SDL3
垂れ壁	無し	幅80mm×高さ350mm, 2-D4@150, スリット15mm		
端部のせん断補強筋	一般部(2-D6@105)と同じ	3-D6@105	3-D6@80	
共通	梁幅×せい=300×350, 主筋3+2-D19(上下), スパン1400			
せん断余裕度(端部)	0.75	0.75	0.84	0.99

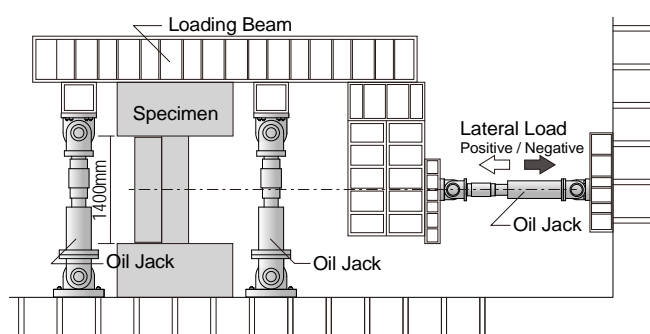


図1 载荷装置

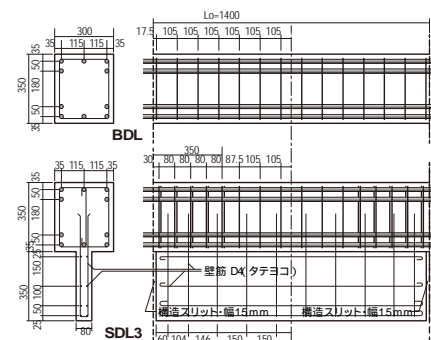


図2 試験体配筋例(梁部のみ)

表2 十字形接合部実験の試験体一覧(2020, 2021年度)

試験体名	SP-BC(2020)	SP-SC(2020)	SP-BC49(2021)	SP-SBC49(2021)
柱配筋	12-D10(SD345)		12-D10(SD490)	
梁配筋	3+2-D13(SD345)上下		3+2-D13(SD490)上下	
腰壁	無し	有り	無し	有り
接合部耐力余裕度	せん断余裕度=1.5 強度低下率 j=1.3		せん断余裕度=1.1 強度低下率 j=1.1	
共通	梁: 200×300, 柱: 320×320, 梁スパン: 3300mm, 柱スパン: 2700mm			

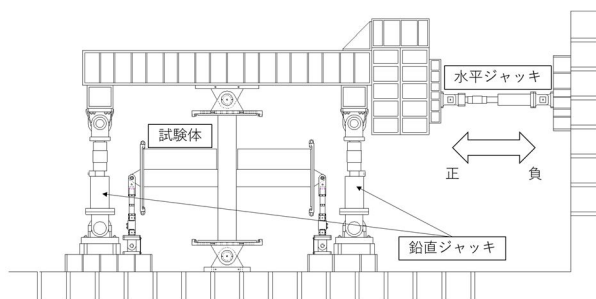


図3 载荷装置

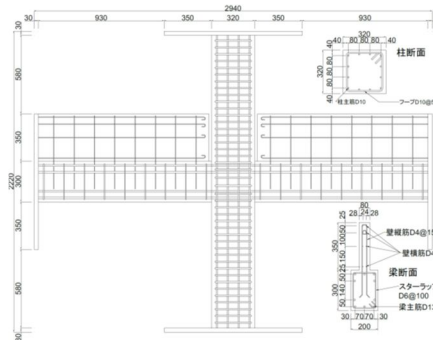


図4 試験体配筋例(SP-SBC49)

4. 研究成果

(1) R C 梁部材に関する実験的検証 (2019 年度)

計4体の静的載荷実験により、以下の結果を得た。各試験体の荷重変形関係を図5に、損傷状況を写真1にそれぞれ示す。

- 1) せん断余裕度が1.0を下回るように計画した試験体は、主筋が降伏するより先にせん断補強筋が降伏し、せん断破壊に至った。
- 2) 構造スリットを有する腰壁がついたことで、矩形断面梁と破壊状況が変化し、特に、壁と反対側の損傷が激しくなったが、せん断強度は低下しなかった。
- 3) 梁端部の補強筋量を増やすことで、最大耐力が上昇し、主筋の降伏が確認された。また、せん断変形を抑制することができた。

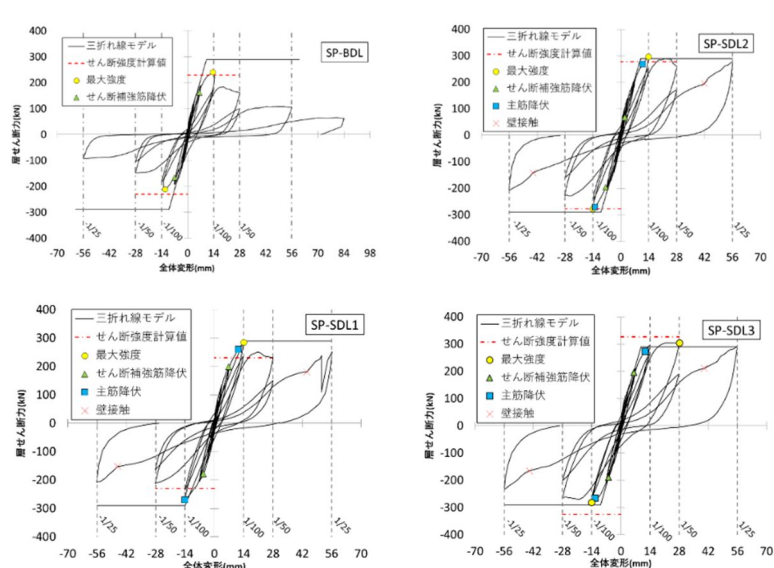


図5 荷重変形関係

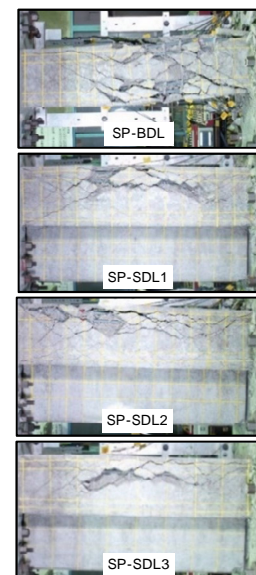


写真1 最終破壊状況

(2) R C 柱梁接合部架構に関する実験的検証 (2020 年度、2021 年度)

2020 年度の成果として、接合部の余裕度 1.3~1.5 程度の十字形架構で腰壁の有無を変数とした実験の結果、以下の知見が得られた。荷重変形関係を図6に示す。図には、非線形 FEM 解析結果も重ねて示した。また、損傷状況を写真2に示す。

- 1) 腰壁の有無によらず、腰壁を無視した梁曲げ終局時層せん断力計算値を上回る安全側の結果を得た。
- 2) 主筋降伏時の変形角は、腰壁付きの試験体の方が小さく、腰壁により降伏点剛性が高くなることが分かった。
- 3) 腰壁がつくことにより、梁の曲げ変形とせん断変形の割合が変化し、ひび割れ性状も大きく異なる結果となったが、強度や履歴曲線への影響は小さかった。
- 4) 試験体を対象とした非線形 FEM 解析は、前述の実験結果を概ね再現可能であった。

さらに、これらの結果を踏まえて、接合部の余裕度を 1.1 程度とした 2021 年度の実験の結果、以下の知見を得た。荷重変形関係を図7に示す。

- 1) 腰壁の有無によらず、接合部降伏破壊が生じ、梁曲げ終局時層せん断力計算値を充分には上回らなかった。
- 2) 接合部を弱くすることで、柱フェイス位置での梁主筋の降伏が遅くなり、最大耐力時変位が大きくなった。
- 3) 図8の主筋応力度分布に示すように、腰壁の存在により、部材スパン中央に近いほど梁主筋応力の低下勾配が急になった。
- 4) 図9の等価粘性減衰定数の推移から、全4体を比較した結果、接合部降伏によりエネルギー吸収性能が低くなった。

以上のように、梁部材と柱梁接合部を含む部分架構を対象とした検証の結果、検討範囲では、腰壁や垂れ壁によって架構の耐力や変形性能が大幅に低下する危険はないことが確認された。しかしながら、部材の変形挙動やひび割れ性状、部材内の応力状態(主筋の応力度分布)が腰壁・垂れ壁により変化することが示された。無条件に、非構造部材として構造設計に影響しないとするべきではなく、非構造部材の厚さや長さ、高さなどについて実験で実証されている範囲を逸脱する場合には慎重に扱うべきであり、実証データを蓄積していく必要があると考えられる。

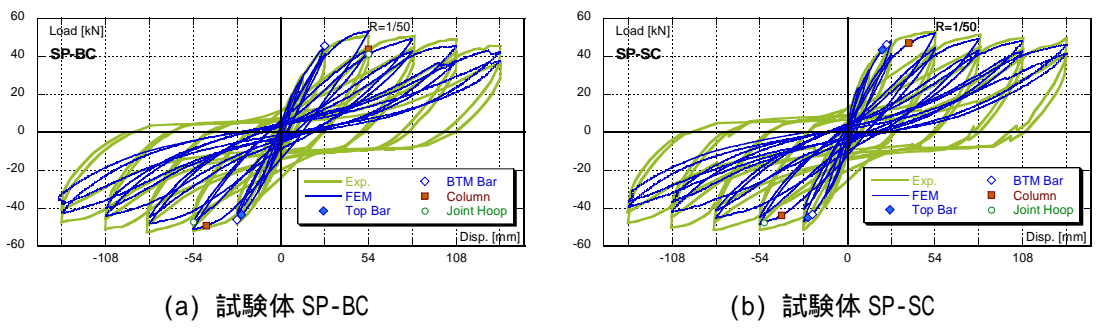


図6 荷重変形関係 (FEM 解析結果も重ねて示す)

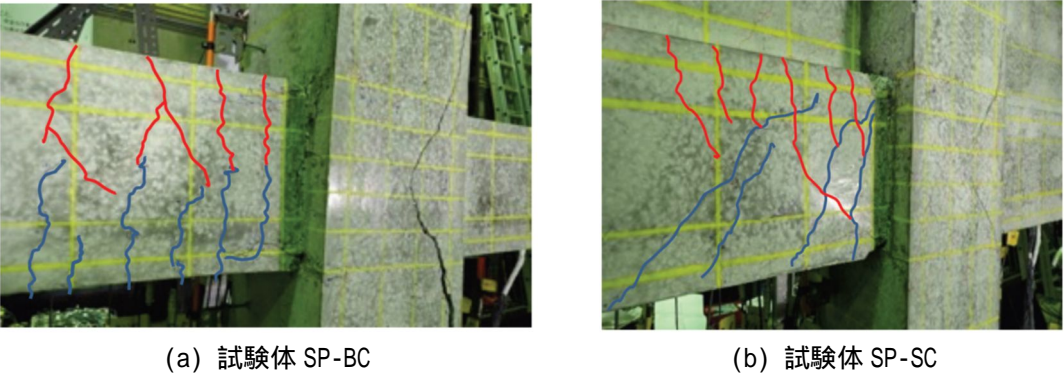


写真2 損傷状況 (梁の損傷状況の相違)

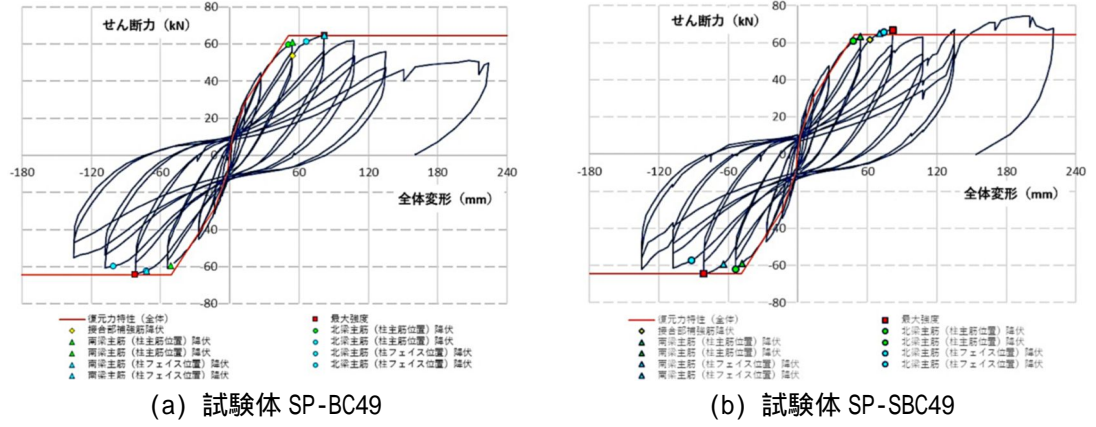


図7 荷重変形関係

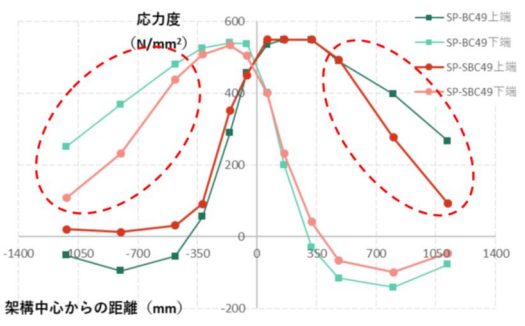


図8 SP-BC49, SBC49 の主筋応力度分布

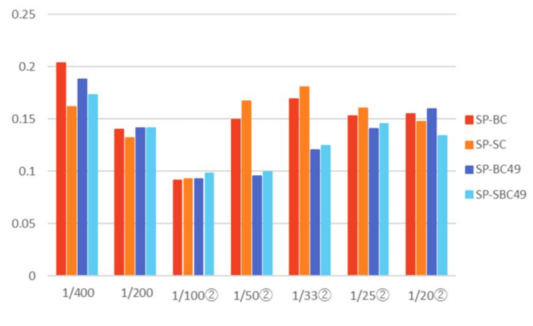


図9 エネルギー吸収性能 (等価粘性減衰定数の全4体の比較)

< 引用文献 >

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説，2021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 赤津 颯一、芥 捷、田中 敦也、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の静的載荷実験 その1 実験計画と結果概要	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 391 - 392
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中 敦也、芥 捷、赤津 颯一、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の静的載荷実験 その2 実験結果および考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 393 - 394
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 杉本 訓祥、芥 捷、田中 敦也、赤津 颯一、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の静的載荷実験 その3 非線形FEM解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 395 - 396
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中 敦也、浦 祐太郎、芥 捷、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付きRC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その1 実験結果および結果概論	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 163-164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 芥 捷、田中 敦也、浦 祐太郎、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付きRC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その2 実験結果の考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 165-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 赤津 颯一、田中 敦也、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の構造性能 その1 実験計画および結果概要	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 田中 敦也、赤津 颯一、杉本 訓祥、田才 晃	4. 巻 構造
2. 論文標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の構造性能 その2 実験結果および考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 赤津 颯一、田中 敦也
2. 発表標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の構造性能
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤津 颯一、田中 敦也、杉本 訓祥
2. 発表標題 構造スリットを有する腰壁付きRC梁と柱からなる十字形接合部の静的載荷実験
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中 敦也、芥 捷
2. 発表標題 構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付きRC 梁部材の構造性能に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	杉本 訓祥 (Sugimoto Kuniyoshi) (60758233)	横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授 (12701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------