

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：13904

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20459

研究課題名（和文）桁行ブレース構造を対象とした被災後補修法の構築

研究課題名（英文）Seismic Repair of Steel Bracing Frames in Longitudinal Direction

研究代表者

仲田 章太郎（Nakada, Shotaro）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：30964019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：申請者は、立体骨組解析により、残留変形が生じたアンカーボルトの締め直しによる被災後補修について検討した。本解析により得られた知見として、アンカーボルトの締め直しによる被災後補修をする際には、ボルトを完全に締め直す必要があることを示した。さらに、バランスの悪い補修パターンを行うと、屋内運動場の隅角部において変形が増幅し、かえって被害を誘発する可能性を示した。さらに、構造実験により、コーン状破壊した露出柱脚の増打ちによる被災後補修を検討した。増打ち部の最大耐力と残存耐力は、破壊形式により異なる力学モデルにより評価できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

申請者は、数値解析および構造実験を実施し、アンカーボルトが残留変形した損傷およびコーン状破壊した露出柱脚の被災後補修について提案した。露出柱脚の補修法を損傷別に提案した研究は、ほとんどなく学術的意義があると言える。さらに、本研究成果は、今後の被災後補修に関する研究の発展・活性化に大きく貢献し、ひいては我が国の防災強化に資する重要な研究成果として高く評価でき、社会的にも意義があるものである。

研究成果の概要（英文）：The applicant studied the seismic repair by retightening anchor bolts with residual deformation using a numerical analysis. The findings obtained from the analysis indicated that seismic repair by retightening anchor bolts must be completely retightened. Furthermore, it was shown that an unbalanced repair pattern could amplify the deformation at the corner of the gymnasium, which in turn could induce damage.

In addition, structural experiments were conducted to investigate seismic repair by reinforcing exposed column bases that had failed due to cone failure. It was found that the maximum strength and residual strength of the reinforcement can be evaluated by different mechanical models depending on the failure type.

研究分野：建築構造

キーワード：被災後補修 露出柱脚 アンカーボルト 残留変形 締め直し コーン状破壊 あと施工アンカー 増打ち

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

体育館のような低層ブレース構造は、災害時の避難所としての役割があり、その耐震性の確保は防災対策上において重要な課題である。近年、災害に対して都市が迅速かつ柔軟に乗り越えるために、“都市のレジリエンス”が求められている。一方、建物の倒壊防止や人命の保護を最低目標とした現行の耐震設計は、塑性変形に立脚した設計であるため、建物の損傷を許容している。その結果、避難所としての役割を担う屋内運動場で多用される露出柱脚では、災害時にアンカーボルトの残留伸びが多く散見された。

2. 研究の目的

以上の背景を受け、本研究は、被災した低層ブレース構造の被災後補修法を構築する。具体的には、アンカーボルトに残留変形が生じた露出柱脚を対象とする締め直しの補修法について検討した。アンカーボルトの締め直しによる被災後補修を提案する上で、建物全体規模で被災後補修の有効性を示す必要がある。たとえば、露出柱脚の補修箇所が偏ると、建築物の偏心率が大きくなり、被災後補修がかえって変形を増加させる危険性がある。本研究では、アンカーボルトの締め直しによる被災後補修における補修箇所のバランスについて定量的に評価する。

3. 研究の方法

3.1 解析モデル

本研究で解析対象とした建物は、図1に示す屋内運動場であり、「文部科学省：学校施設の耐震補強マニュアルS造屋内運動場」の設計例を参考に STERA_3D で作成した。解析モデルの露出柱脚(図2)は、柱と梁よりも先行して降伏させるために、軸力を考慮しないスリップモデルとした。露出柱脚では、M16のアンカーボルトが用いられており、アンカーボルトの埋込み深さは、軸径の20倍である320mmとした。

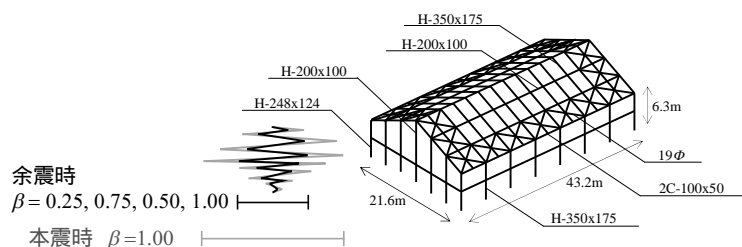


図1 解析対象の建物

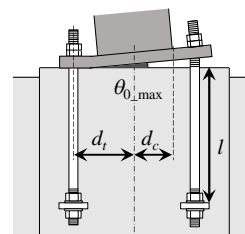


図2 露出柱脚の詳細図

3.2 補修量のモデル

補修量の説明、補修した露出柱脚の復元力特性を図3、図4に示す。本研究では、補修量の指標として補修率を用いた。補修率は、本震後の残留変形に対する補修量の割合であり、 $=0.00$ 、 0.25 、 0.50 、 0.75 、 1.00 の5種類を設定した。解析では、まず本震を入力し、その後、PGVにして本震の25、50、75、100%の余震を与えた。また、余震の解析を行う際には、本震時の解析で得られた正負の最大層間変形角のみを記録し、残留層間変形角をゼロとして余震の解析を行った。

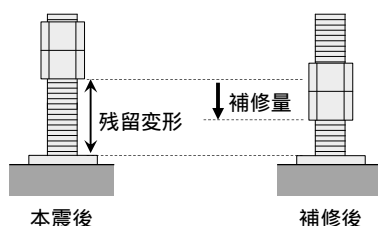


図3 補修量の定義

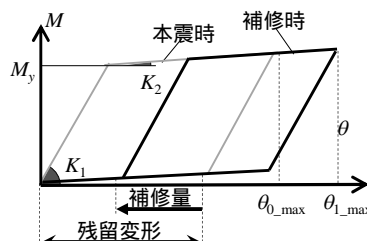


図4 補修した柱脚の復元力特性

3.3 補修のバランス

補修箇所のパラメータを図5に示す。図中、黒色塗り潰しは、締め直しによる補修を行った補修箇所を表している。補修箇所は、建物の桁行(A1、A2)、梁間(B1、B2)、隅角部(C1、C2)に着目した全6パターンについて検討した。

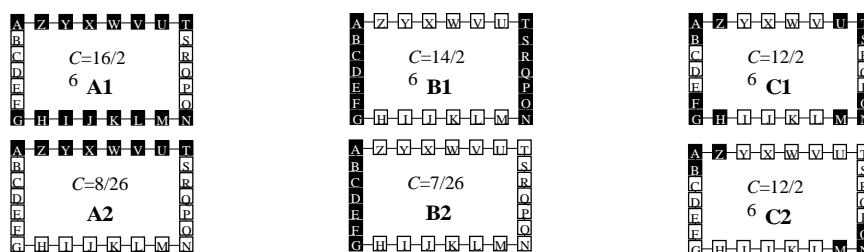


図5 補修箇所のパラメータ

4. 研究成果

4. 1 締め直し量に関する検討

補修率と変形抑制効果の関係について、梁間、桁行方向ごとに図 6 を示す。図の横軸は補修率、縦軸は本震時における最大層間変形角に対する余震時における最大層間変形角の割合(以下、変形増加率 $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$)である。図中、灰色の塗り潰しは $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ が 1 以下、つまり余震時に本震時よりも変形が抑制できる範囲を示している。また、マーカーの種類により余震倍率を区別している。

梁間方向(図 6(a))に着目すると、補修率が増えても $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ は、ほぼ一定の値となり、締め直しによる変形抑制効果が少ない。一方、桁行方向(図 6(b))に着目し、余震倍率 0.25、0.50 を見ると、補修率の増加に伴い変形増加率は減少する。しかしながら、余震倍率 0.75、1.00 を見ると、補修率が 0.75 以下で補修率の増加に伴い変形増加率が増加する。換言すれば、不完全な締め直しは、かえって無補修よりも変形を増幅する恐れがあると言える。

次いで、アンカーボルトの締め直しによる被災後補修の余震に対する安全検証として図 7 を示す。図の縦軸は変形増加率 $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ 、横軸は余震倍率である。図中のマーカーは本研究で検討した全ての解析結果であり、マーカーの色により正側と負側の最大層間変形角を区別する。

梁間方向(図 7(a))を見ると、一部の $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ が 1 を超えているものの、そのほとんどの $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ が 1 以下となった。一方、桁行方向(図 7(b))を見ると、余震倍率が 0.50 以下の解析結果はすべて $\theta_{1_max}/\theta_{0_max}$ が 1 以下となった。したがって、余震の大きさが PGV にして本震の 50%以下であれば、屋内運動場は余震の影響をほとんど受けないと言える。

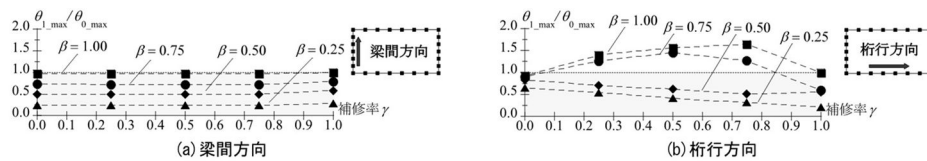


図 6 補修率と変形増加率

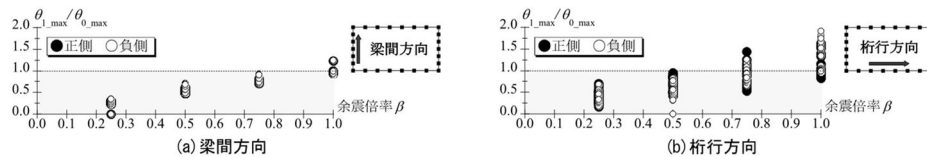


図 7 余震倍率と変形増加率

4. 2 補修箇所のバランスに関する検討

補修箇所の違いが面内変形、面外変形に及ぼす影響として図 8、図 9 を示す。図の縦軸は無補修時の変形に対する余震時の変形(以下、相対変形)であり、1 以下は無補修時よりも変形抑制効果があることを表している。図中、マーカーの色は、図中に示す位置の相対変形量を表す。

面内変形(図 8)に着目する。いずれの補修パターンも、梁間方向の隅角部は 1.0 を下回っていた。一方、モデル B 1 を見ると、梁間方向の中央部で 1.5 となり、補修が悪影響となった。

次いで、面外変形(図 9)に着目する。モデル B 1 を見ると、桁行方向と梁間方向の中央部で 1.0 を上回っていた。したがって、締め直しによる補修を行う場合、桁行方向をバランスよく補修することが有効であることが明らかになった。

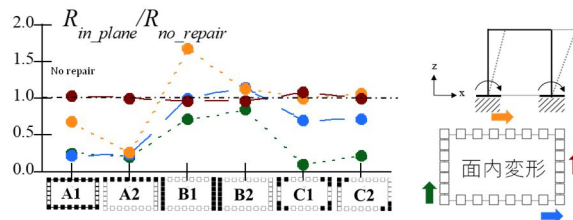


図 8 補修箇所の違いが面内変形に及ぼす影響

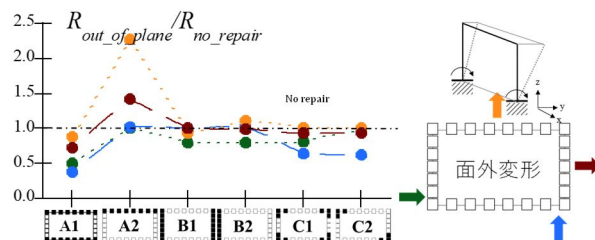


図 9 補修箇所の違いが面外変形に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shotaro Nakada, Shoichi Kishiki	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical study on seismic repair by retightening turnbuckle brace	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 STESSA2022	6. 最初と最後の頁 984-992
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 有
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 該当する

1. 著者名 仲田章太郎、吉敷祥一	4. 巻 72
2. 論文標題 塗装や錆がアンカーボルト等の締め直しにおける施工性に与える影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	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 有
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 仲田章太郎、斎藤大樹	4. 巻 -
2. 論文標題 露出柱脚のアンカーボルトを対象とした締め直しによる被災後補修に関する解析的検討 その1 不完全な締め直しが行われた露出柱脚の余震に対する安全検証	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 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 S. Nakada, W. Ramos, T. Saito	4. 巻 -
2. 論文標題 NUMERICAL STUDY ON SEISMIC REPAIR BY RETIGHTENING ANCHOR BOLTS FOCUSING ON SAFETY VERIFICATION AGAINST AFTERSHOCKS	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proceedings of 18th World Conference on Earthquake Engineering	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 有
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 該当する

1．著者名 仲田章太郎，齊藤大樹	4．巻 -
2．論文標題 露出柱脚のアンカーボルトを対象とした締め直しによる被災後補修に関する解析的検討 その1 不完全な締め直しが行われた露出柱脚の余震に対する安全検証	5．発行年 2024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 高橋淳平，永松孝太郎，仲田章太郎，松井智哉，吉敷祥一	4．巻 -
2．論文標題 あと施工アンカーを用いた増打ちによる露出柱脚の被災後補修 その2 ひび割れ耐力、最大耐力および残存耐力の評価	5．発行年 2024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 永松孝太郎，高橋淳平，仲田章太郎，松井智哉，吉敷祥一	4．巻 -
2．論文標題 あと施工アンカーを用いた増打ちによる露出柱脚の被災後補修 その1 要素実験の計画と結果の概要	5．発行年 2024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1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1．発表者名 仲田章太郎
2．発表標題 Numerical study on seismic repair by retightening turnbuckle brace
3．学会等名 STESSA2022（国際学会）
4．発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------