

平成22年 6月11日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560588
 研究課題名（和文） 地盤沈下による RC 構造物の損傷度の調査及び検討とそれが耐震性能に与える影響の評価
 研究課題名（英文） INVESTIGATION AND EXAMINATION OF DAMAGE CONDITIONS OF OLD REINFORCED CONCRETE BUILDINGS DUE TO SUBSIDENCE AND THE EFFECT OF DAMAGE CONDITIONS ON SEISMIC PERFORMANCE OF THE BUILDINGS
 研究代表者
 寺岡 勝（TERAOKA MASARU）
 呉工業高等専門学校・建築学分野・教授
 研究者番号：60442464

研究成果の概要（和文）：本研究は、地盤沈下による既存の鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）構造物の損傷度の調査及び検討とその損傷が耐震性能に与える影響の評価を行なうことを目的とし、①地盤沈下による RC 構造物の損傷度の調査および検討、②骨組モデルおよび耐震壁による自己歪応力実験及びその損傷構造物の耐震性能確認実験、の2項目について実施を行い、地盤沈下を伴う RC 構造物の耐震診断時の経年指標について有益なデータおよび情報を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：This report describes the investigation and examination of damage conditions of old reinforced concrete buildings due to subsidence, and the influence of such damage conditions on the structural seismic performance was discussed. And tests of 11 model frames and 8 earthquake resisting walls considered the damages due to self-strain stresses had been done, and more the influence of the damages on the structural seismic performance was examined by using the test results of existing building frame. The useful data for judgment on seismic performance of existing reinforced concrete buildings was got by these studies.

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：(1) 既存鉄筋コンクリート構造、(2) 地盤沈下、(3) 自己歪応力、(4) 損傷、(5) ひび割れ
 (6) 耐震性能

1. 研究開始当初の背景

(1) 建築地盤工学の分野では、RC 構造物について不同沈下の調査・検討がなされ、主と

して上部構造の剛性を考慮した不同沈下による損傷評価法が検討されていたが、その損傷が耐久性能および耐震性能に与える影響

は検討されていなかった。

(2) 一方、コンクリート工学および RC 構造学の分野では、自己歪応力のうち、コンクリートの硬化および乾燥収縮、更には温度応力に伴う RC 構造物の損傷の評価は、戦前から今日まで連綿と続けられてきている。しかし、地盤沈下に伴う損傷の評価については、殆ど行われてこなかった。昭和 30 年代前半には延性部材を用いた模型骨組実験と解析的検討により剛性・終局耐力に対しての自己歪応力の影響の評価は行われたが、脆性部材を含む RC 構造についての自己歪応力が、長期・短期の両性能に与える影響評価は行われていない。更に、圧縮強度が 10~15N/mm² の低強度コンクリートを用いた RC 構造について、自己歪応力による損傷の調査・検討とその損傷が耐久および耐震性能に与える影響の研究については殆ど行われていない。

(3) これらのことより、RC 構造物について、自己歪応力の影響を評価した耐震診断時の経年指標の根拠は得られていなかった。

2. 研究の目的

昭和 40 年前後の高度成長期に、軟弱地盤に建設された RC 構造物について、「地盤沈下による RC 構造物の損傷の調査および検討とその損傷が耐震性能に与える影響の評価」に関して、以下の目的を設定する。特に、耐震診断の経年指標に関する事項「構造ひび割れ・変形（不同沈下）、変質・老朽化」に焦点を当てた。

- (1) 地盤沈下に伴う RC 構造物の自己歪応力と損傷との関係評価
- (2) 地盤沈下を伴う支持杭基礎形式 RC 構造物の地盤沈下量と損傷の関係評価
- (3) 自己歪応力による RC 構造物の損傷の評価とその損傷が耐震性能に与える影響の評価
- (4) 地盤沈下に伴う抜け上がり RC 構造物の損傷の評価とその損傷が耐震性能に与える影響の評価
- (5) 地盤沈下を伴う RC 構造物の耐震診断時の経年指標の提案

3. 研究の方法

以下に示す (1) 調査、(2) 実験、および (3) まとめと今後の課題、を行った。

- (1) 地盤沈下および自己歪応力による RC 構造物の損傷度の調査および検討
 - ① 不同沈下に伴う相対沈下量による部材角とひび割れ幅、構造部材変形状態の評価
 - ② 地盤沈下量と抜け上がり量及び上部 RC 構造のひび割れ状態の関係調査
 - ③ 支持杭の負の摩擦力と抜け上がり量との関係、及び杭の残存鉛直支持能力との関

係調査

- ④ コンクリートの硬化収縮および温度応力によるひび割れの経時的挙動の測定とその評価

(2) 自己歪応力による RC 構造物の損傷実験とその損傷が耐震性能に与える影響についての実験

- ① 自己歪応力による RC 造骨組モデルの損傷実験とその損傷が骨組の耐震性能に与える影響の確認実験、および耐震補強実験
- ② 自己歪応力による RC 造耐震壁の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響の確認実験

(3) まとめと今後の課題

上記(1)、(2)で得られた結果について統合・整理を行い、まとめと今後の課題について示した。

4. 研究成果

以下に、各研究項目の成果((1)~(6))、研究成果のまとめ(7)、および研究成果の総括と今後の展望(8)について示す。

- (1) ベタ基礎 RC 構造物の自己歪応力（不同沈下およびコンクリートの乾燥収縮）ひび割れ幅、構造部材の変形状態の評価
8 棟の RC 構造物について調査・評価した結果、以下のことが知れた（図 1 参照）。

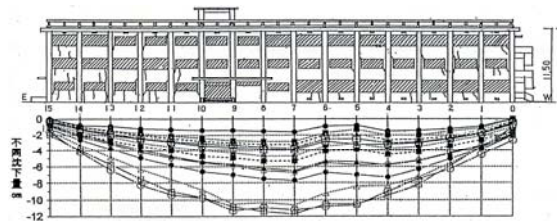


図1 構造物の長年に亘る不同沈下測定例

- ① 構造物は、相対沈下により骨組の一部が降伏し、見かけの剛性は弾性剛性の約 1/3 であると推察された。
- ② 不同沈下およびコンクリートの乾燥収縮より、耐久性に影響を与えるひび割れが多く発生していた。
- ③ 不同沈下は、構造物剛性の影響を強く与える。その影響を考慮した相対沈下曲線計算値は、測定値と概ね対応していた（図 2 参照）。
- ④ 耐震補強時に壁付ラーメンの雑壁にスリットを設けることは、構造物の剛性を低下させ、結果として構造物の不同沈下を増大させる。
- ⑤ RC 部材の乾燥収縮歪に関して、スラブ

および小梁では平均値で約 200×10^{-6} 、不静定ラーメンの大梁では平均値で約 150×10^{-6} が推定された。

- ⑥ 壁付ラーメンの不同沈下量は、柱および袖壁に生じたせん断ひび割れを合計することでほぼ予測可能であった (図3)。

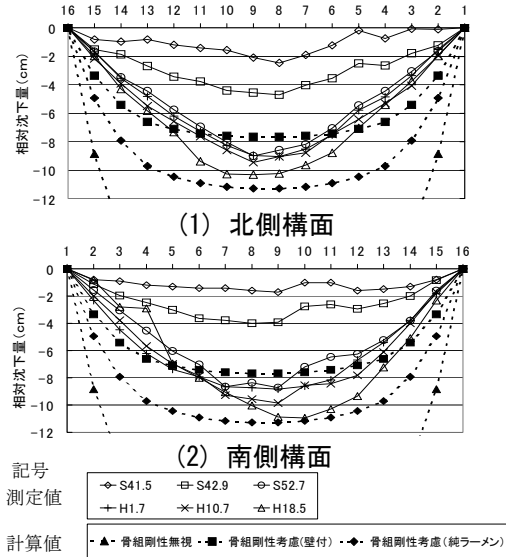


図2 相対沈下曲線の測定値と計算

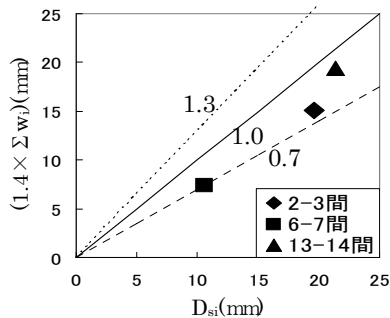


図3 相対沈下量とせん断ひび割れ幅の合計との関係

- (2) 地盤沈下量と支持杭 RC 構造物の抜け上がり量および損傷との関係調査

軟弱地盤に支持杭を用いて建設された4階建ておよび5階建ての3棟のRC構造物について、建設地盤の液状化、不同沈下、地盤沈下による建物の抜け上がり量、地盤沈下による負の摩擦力が支持杭の耐力に与える影響に関して調査・検討したその結果、以下のことが知れた。

- ① 建設地盤は、地表面における設計用水平加速度 (α_{max}) を $2m/s^2$ と想定した検討で、埋立て層を除いた上部砂層で液状化が予測された。2001年芸予地震では、調査対象地盤の広い範囲で液状化が確認されている。

- ② 地盤沈下による建物の抜け上がり量は、50~70cmが測定された。この量は、建設地盤の圧密沈下の算定量の60~70cmにほぼ対応している (図4、5参照)。
- ③ 各構造物で測定された最大不同沈下量は5~8cmであり、また柱間の最大相対変形角は桁行き方向で $3.5/1000rad$ 、張間方向で $4.7/1000rad$ であり、支持杭を有する構造物としては比較的大きな値を示した。
- ④ 基礎指針に基づき負の摩擦力を考慮した場合の杭に作用する荷重は、耐荷力を上回った。このことが不同沈下を大きくしている一因と考えられた。

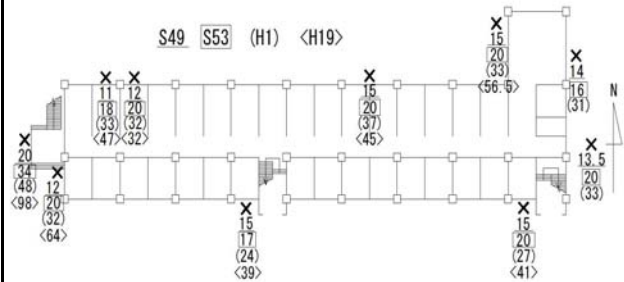


図4 第2寮外周抜け上がり測定値

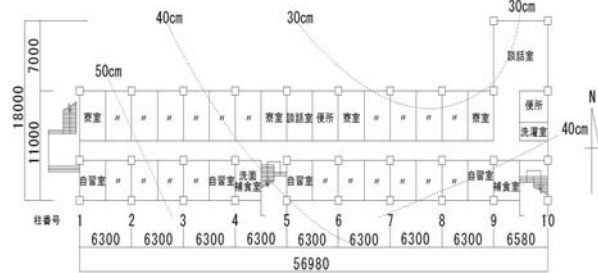


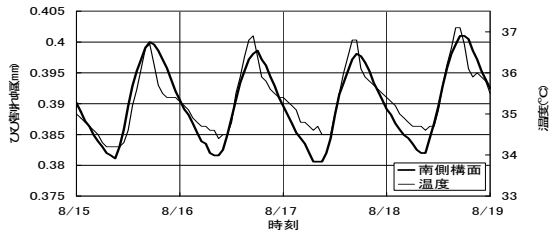
図5 第2寮空洞量調査結果 (平成11年)

- (3) 自己歪応力 (不同沈下、コンクリートの硬化収縮および温度応力) によるひび割れの調査とその評価

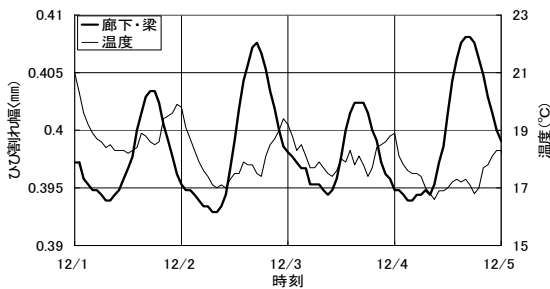
昭和40年代 (A棟:昭和40年、B棟:昭和47年) に建設された3階建てのRC構造物に発生したひび割れに関して、温度変化に伴うひび割れ幅とその刑事的変動の調査を行った結果以下の知見を得た。

- ① 平均曲げひび割れ幅に対する最大曲げひび割れ幅は、平均的には約2倍となっていたが、最大で約3倍になっていた。
- ② 平均せん断ひび割れ幅に対する最大せん断ひび割れ幅は、約4倍となっており、ばらつきが大きい。
- ③ 平均収縮ひび割れ幅に対する最大収縮ひび割れ幅は、凡そ2倍~4倍にあり、平均値としては約3倍になっていた。
- ④ ひび割れ幅の変動は、温度の変動に依存しているが、その依存状態は、季節およびひび割れ測定位置で大きく異なる。

- ⑤ 冬季暖房は、ひび割れの変動に与える影響が大きく、最大温度発生時とひび割れ幅の最大変動発生時との間には大きくずれを生じていた (図6参照)。



(1) 夏季



(2) 冬季暖房有り

図6 温度変化に伴うひび割れ幅の変動例 (廊下梁)

- (4) 自己歪応力による損傷実験とその損傷が骨組の耐震性能に与える影響の確認実験

コンクリート強度、柱軸力、柱横補強筋量および炭素繊維補強の有無を実験因子とした11体のRC構造骨組モデルについて、自己歪応力による損傷を調べると共に、その損傷が耐震性能に与える影響を、実験的に検討した結果、以下のことが知れた。

- ① 自己歪応力は、骨組の耐震性能に影響を与える。影響度合は、自己歪応力が大きいほど、大きくなる (図7、8参照)。

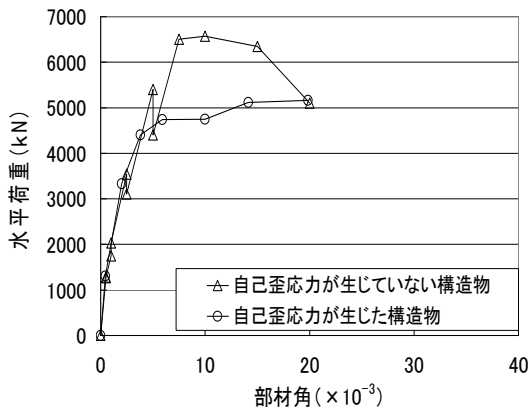


図7 自己歪応力が実在構造物 (図1参照) 1階の荷重-変形角包絡曲線に与える影響の評価

- ② 自己歪が骨組の耐震性能に与える影響は、部材の靱性性能により異なる。靱性性能に劣る部材で構成される骨組の耐震性能は、靱性性能に優れた部材で構成される骨組の耐震性能に比べて、自己歪応力による損傷の影響をより顕著にうける (図8参照)
- ③ 自己歪応力を受けた RC 柱に炭素繊維で補強を行なうことにより、耐震性能が著しく向上した。

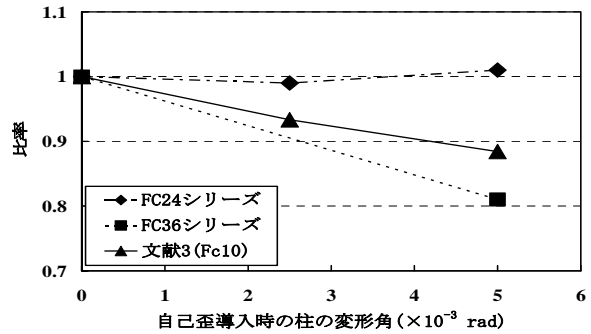


図8 自己歪応力による柱の最大荷重差低下比率 (FC24シリーズ：靱性部材、その他のシリーズ：脆性部材)

- (5) 自己歪応力による鉄筋コンクリート造無開口耐震壁の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響の確認実験

4体の試験体について、載荷を行った結果以下のことが知れた。

- ① 体積表面積比の小さい壁板の収縮量は大きく、ひび割れの原因となることが知れた。
- ② 強制ひずみ実験によって生じたひび割れは、実建物の壁に発生しているひび割れパターンと同様なものを再現することができた。
- ③ 熱応力によって損傷を受けた耐震壁におけるせん断ひび割れ以前の初期剛性は、低下した。
- ③ 熱応力などによる自己ひずみを受け損傷した耐震壁においては、ひび割れ後の剛性が計算値に対して2割程度低下した。
- ④ 耐震壁の性能評価を行うにあたって、既往の評価式は、熱応力などによる自己ひずみを受け損傷したものを対象とした場合には実験値を上回ったことから、損傷度を考慮した修正が必要と思われる。

- (6) 開口耐震壁の乾燥収縮歪と耐震性能

4体の試験体について、乾燥収縮歪の測定および水平加力実験を行った結果、以下のことが知れた。

- ① 柱間 (柱頭部)、上部梁および開口部端部の各水平乾燥収縮歪は、開口周比の違い

- により大きく異なる。
- ② 開口部端部の腰壁にスリットを設けた場合は、スリットが無い場合に比べて、上部梁の伸び歪が大きくなり、また、柱間（柱頭部）及び開口部端部の各水平乾燥収縮歪は、小さくなった。
 - ③ せん断破壊する開口耐震壁のせん断耐力は、既往の評価式の算定耐力に対して、開口周比が0.31及び0.6において、それぞれ約1.5倍の耐力を示した。

(7) 研究成果のまとめ

地盤沈下によるRC構造物の損傷度の調査および検討の結果を纏めると、以下のようになる。

- ① ベタ基礎構造物について、耐震補強時に雑壁の一部にスリットを設けることは、構造物の剛性を低下させ、結果として不同沈下量を増大させる。
- ② 支持杭基礎構造物について、支持杭基礎構造物について地盤沈下による建物の抜け上がり量は、圧密沈下の算定量に比べて若干小さい程度であった。
- ③ 支持杭基礎構造物について、負の摩擦力を考慮した場合の支持杭に作用する荷重は耐荷力を上回り、このことが不同沈下を大きくした一因と考えられた。
- ④ 支持杭基礎構造物について、調査対象地盤の沈下による抜け上がりおよび地盤の液状化は、支持杭の耐震性を低下させることが知れた。
- ⑤ 曲げ、せん断および収縮の各ひび割れ幅に関して、平均値に対する最大値の比は、2倍～4倍であった。
- ⑥ ひび割れ幅の変動は、温度の変動に依存しているが、その依存状態は、季節およびひび割れ測定位置で大きく異なる。

小型骨組モデルおよび耐震壁の自己歪応力実験及びその損傷が骨組および耐震壁の耐震性能に与える影響の確認実験の結果を纏めると以下のようになる。

- ① 自己歪応力は、骨組および耐震壁の耐震性能に影響を与える。
- ② 自己歪応力により損傷した柱部材を、炭素繊維により補強することで、耐震性能が著しく改善されることを確認した。
- ③ 柱について、上記①および②の傾向は、コンクリート設計基準 $F_c=10\sim36\text{N/mm}^2$ の範囲で同じであった。

(8) 研究成果の総括と今後の展望

① 研究成果の総括

耐震診断の経年指標に関する事項「構造ひび割れ・変形（不同沈下）、変質・老朽化」に関して有益なデータが得られ、現在直面している耐震診断の評価精度を高めることが

可能となり、もって循環型社会の実現に寄与するものとする。

② 今後の展望

本研究で得られた調査および実験資料の分析、評価および整理を十分に行いつつ、調査・実験を重ね、RC構造物の耐久性能および耐震診断の評価方法の確立を図り、実務に活かすべく努力をしたい。また、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 22条 特殊な応力その他に対する構造部材の補強」の内容充実を図って行きたい。

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)

[雑誌論文] (計 4件)

- ① 寺岡 勝、福原 安洋：自己歪応力によるある RC 構造物の損傷の調査および検討、日本コンクリート工学年次論文集、第 28 巻第 2 号、査読有、pp. 497-502、2007.7.
- ② M. TERAOKA and Y. FUKUHARA : Investigation and examination of damage conditions of an RC structure due to self-strain stresses. Proceeding of The 9th Japan-Taiwan-Korea Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures(SEEBUS2007), 査読無, pp. 287-296, 2007.10
- ③ M. TERAOKA and Y. FUKUHARA : Investigation and theoretical examination of damages of an old reinforced concrete school building due to self-strain stresses, 呉工業高等専門学校研究報告, 査読無, 第 70 号, pp. 55-61, 2008.8
- ④ 寺岡 勝、仁保 裕：不同沈下による損傷を有する低強度鉄筋コンクリート造の耐震性能、呉工業高等専門学校研究報告、査読無、第 71 号、pp. 21-26、2009.8.

[学会発表] (計 14件)

- ① 寺岡 勝、福原 安洋、谷岡洋介：自己歪応力によるある RC 構造物の損傷の調査・検討 (その 2 不同沈下量の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 IV、pp. 737-738、2007 年 8 月、福岡大学。
- ② 谷岡洋介、寺岡 勝、福原 安洋：自己歪応力によるある RC 構造物の損傷の調査・検討 (その 3 コンクリートのひび割れ状態の検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造 IV、pp. 739-740、2007 年 8 月、福岡大学。
- ③ 寺岡 勝、福原 安洋、谷岡洋介、山田 竜也：地盤沈下による鉄筋コンクリート

構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その1 既存建築物の損傷状態の調査)、日本建築学会中国支部研究報告集、第31巻、CD-ROM(267)、2008年3月、広島国際大学。

- ④ 谷岡洋介、寺岡 勝、福原 安洋、山田竜也：自己歪応力による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その1 既存建築物の損傷状態の調査)、日本建築学会中国支部研究報告集、第31巻、CD-ROM(268)、2008年3月、広島国際大学。
- ⑤ 寺岡 勝、福原 安洋、谷岡洋介、山田竜也：自己歪応力による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その2 骨組モデルによる自己歪応力実験およびその損傷骨組の耐震性能確認実験)、日本建築学会中国支部研究報告集、第31巻、CD-ROM(269)、2008年3月、広島国際大学。
- ⑥ 佐島悠太、福原 安洋、寺岡 勝、谷岡洋介：自己歪応力による鉄筋コンクリート造耐震壁の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響 その1 収縮と熱応力による壁のひび割れ実験、日本建築学会中国支部研究報告集 第31巻、CD-ROM(270)、2008年3月、広島国際大学。
- ⑦ 佐島悠太、福原 安洋、寺岡 勝、谷岡洋介：自己歪応力による鉄筋コンクリート造耐震壁の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響 その2 収縮ひび割れのある壁の耐震性能、日本建築学会中国支部研究報告集 第31巻、CD-ROM(271)、2008年3月、広島国際大学。
- ⑧ 福原 安洋、寺岡 勝、谷岡洋介、佐島悠太：自己歪応力による鉄筋コンクリート造耐震壁の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響 その3 開口壁の耐震性能、日本建築学会中国支部研究報告集 第31巻、CD-ROM(272)、2008年3月、広島国際大学。
- ⑨ 寺岡 勝、福原 安洋、仁保 裕、谷岡洋介：自己歪応力による損傷を有する低強度RC造建築物の耐震性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(選抜梗概)、構造IV、pp. 1-4、2008年9月、広島大学。
- ⑩ 谷岡洋介、寺岡 勝、福原 安洋：自己歪応力による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その3 温度変動に伴うひび割れ幅の変動調査)、日本建築学会学術講演梗概集、構造IV、pp108~109、2008年9月、広島大学。
- ⑪ 寺岡 勝、谷岡洋介：地盤沈下による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その2 既存建

築物の損傷状態の調査(2))、日本建築学会中国支部研究報告集 第32巻、CD-ROM(269)、2009年3月、島根大学。

- ⑫ 仁保 裕、寺岡 勝：地盤沈下による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響(その3 杭の耐震性の検討)、日本建築学会中国支部研究報告集 第32巻、CD-ROM(270)、2009年3月、島根大学。
- ⑬ 寺岡 勝：ある鉄筋コンクリート構造物についての自己歪応力によるひび割れの調査、日本建築学会学術講演梗概集、構造IV、pp. 647-648、2009年8月、東北学院大学。
- ⑭ 掛悟史、寺岡 勝、仁保 裕：自己歪応力を受けた鉄筋コンクリート柱の耐震性能および耐震補強に関する実験：日本建築学会中国支部研究報告集、第33巻、CD-ROM(269)、2010年3月、近畿大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺岡 勝 (TERAOKA MASARU)

呉工業高等専門学校・建築学分野・教授
研究者番号：60442464

(2) 研究分担者

福原 安洋 (YASUHIRO FUKUHARA)

(平成19年度)

呉工業高等専門学校・建築学分野・教授
研究者番号：10043811

松野 一成 (MASTUNO KAZUNARI)

(平成19年度)

呉工業高等専門学校・建築学分野・准教授
研究者番号：10270331

仁保 裕 (NIHO YUTAKA)

呉工業高等専門学校・建築学分野・助教
研究者番号：10346687