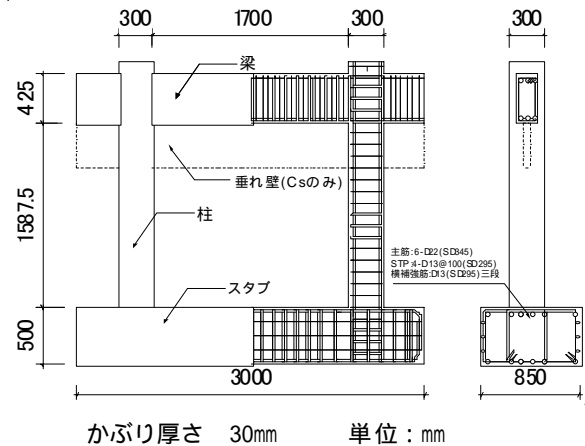


付録 1 枠なし外付け履歴型ダンパー補強による RC 造架構の構造実験

3.1 の解説に記載のある枠なし外付け履歴型ダンパー補強における補強部材のロス変形は、本工法の補強効果に大きな影響を及ぼす。ここでは、そのロス変形について文献 3.1) で実験的に検討されているため以下にその概要を示す。ここでは破壊モードの異なる 1 層 1 スパンの RC 造架構試験体 3 体に対して、低降伏点鋼材からなるダンパー部を有する座屈拘束ブレース材を両端ピン機構にして、RC 梁端部に面外方向から定着板およびグラウトを介して PC 鋼棒によって直接接合している。

試験体計画

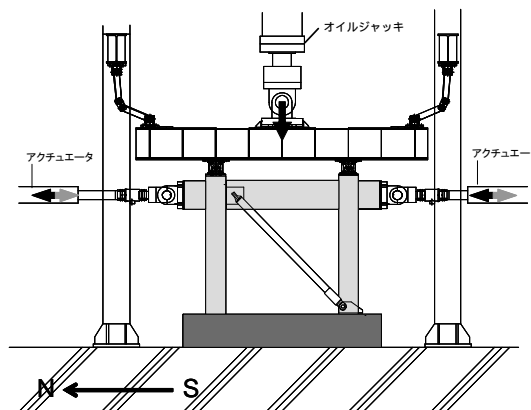
付図 1.1 に試験体配筋例と寸法を示す。試験体は 1 層 1 スパンラーメンを実大の 1/2 に縮小したモデルで、崩壊形の異なる 3 体（梁曲げ降伏型 Gb、柱曲げ降伏型 Cb、柱せん断破壊型 Cs）を製作した。各試験体とも 250kN 程度の層せん断耐力を目標に設計している。いずれも梁部材は、ブレース応力によりねじれ破壊しないよう設計している。また、せん断破壊する試験体は、たれ壁を設けて F 値 1.0 相当となるよう設計している。ブレース取付角度は全試験体共通して 45°である。



付図 1.1 試験体概要

加力計画

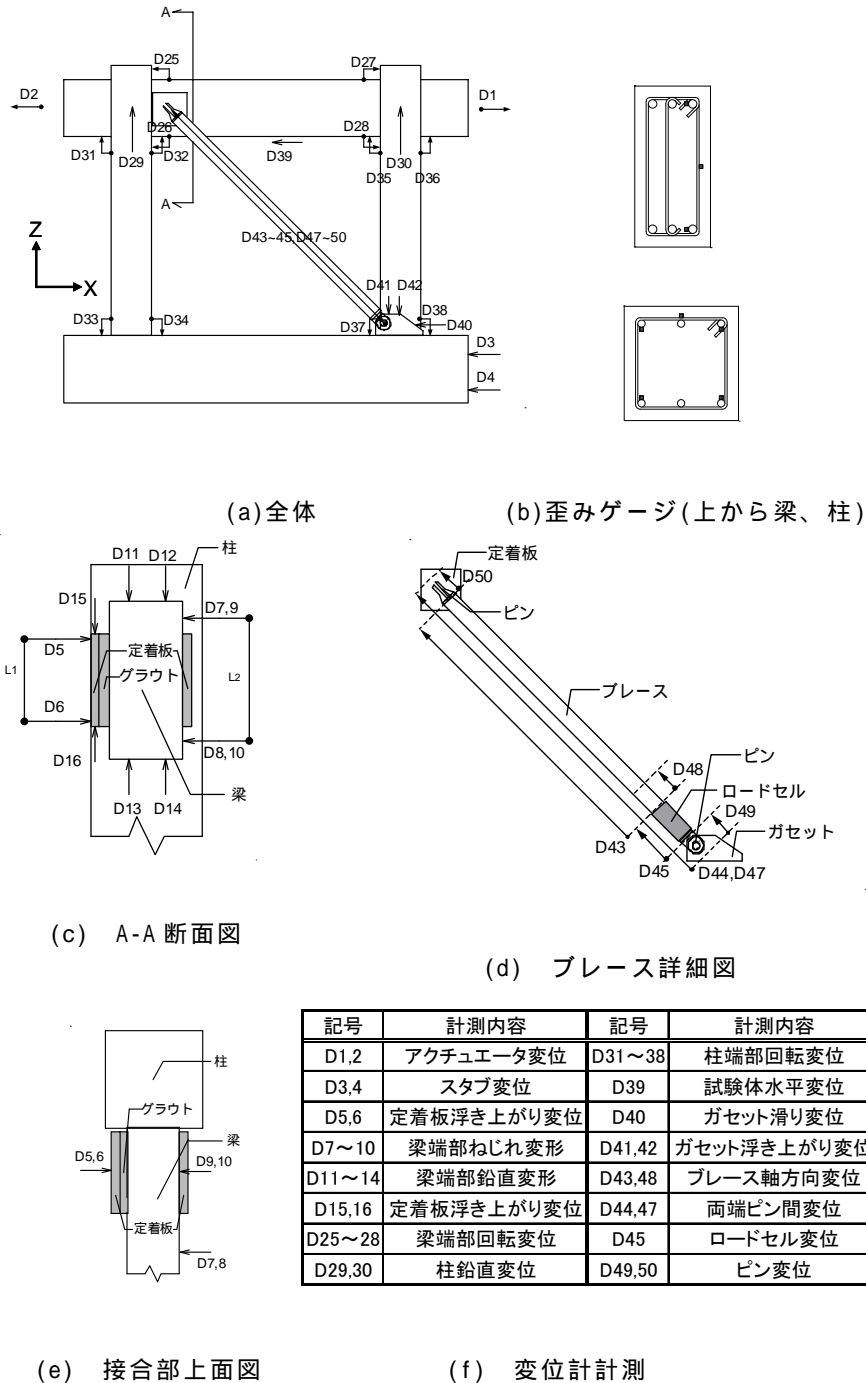
付図 1.2 に RC 試験体を含めた加力装置を示す。水平方向の荷重は両端のアクチュエータを同時に同方向に稼働させることで、RC 架構のみの加力を想定した場合に梁に軸力が作用しないよう考慮した。各柱にはオイルジャッキを用いて軸力比が 0.1(既存 RC 造 4 層建物の 2 階中柱の長期軸力相当)となる初期軸力を作用させた。荷重は RC 梁中央に設置した変位計により算出した層間変形角で制御し、 $R=1/800$ 、 $1/600$ を 1 回ずつ荷重しブレースが降伏荷重に達した後、ブレースの履歴エネルギー吸収レベルとして $R=1/400$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ を同一変形で 5 回繰返し荷重を行う。その後 RC フレームにもエネルギー吸収を期待するレベルとして、 $R=1/75$ 、 $1/50$ の変形で 2 回繰返し荷重を行う。また、ブレース引張荷重時を正荷重とした。



付図 1.2 加力装置

計測計画

測定項目は、ジャッキおよびアクチュエータの荷重、ブレース軸力、試験体各部変形、主筋、せん断補強筋、PC鋼棒のひずみである。付図 1.3 に変位計の設置位置、ひずみゲージの貼付位置を示す。本実験においては、ブレースのロス変形を計測するために、ブレース応力測定用のロードセル部分に生じるロス、ブレース端部のピン部分に生じるロスをそれぞれ直接計測している。また、変位計より算出するねじれ回転角 θ_i 、定着板浮き上がり回転角 $\theta_{u,i}$ 、定着板滑り変位(RC-グラウト間、グラウト - 定着板間の変位、グラウトのせん断変形とする)を算定できる。

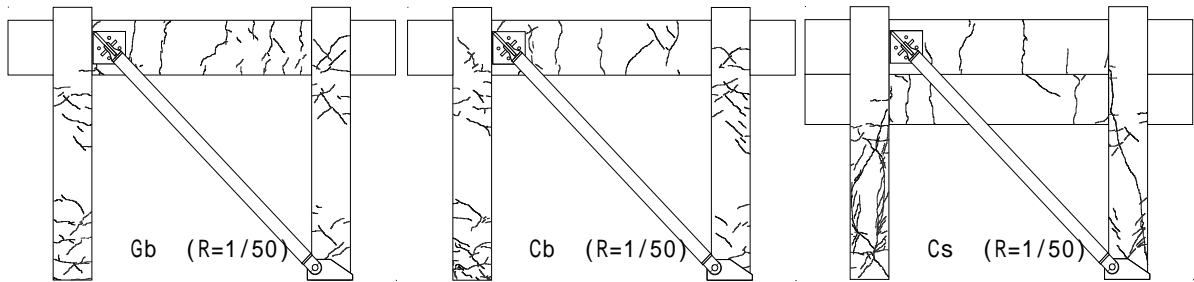


付図 1.3 変位計および歪みゲージによる計測情報

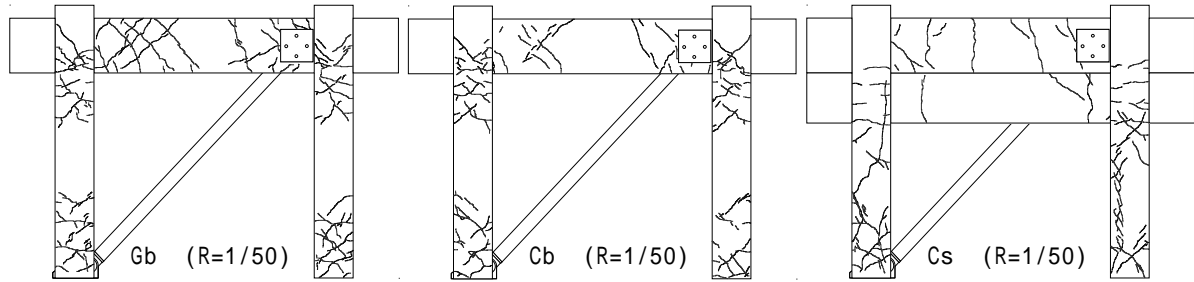
実験結果及び考察

試験体の破壊性状及び各荷重 - 層間変形角関係

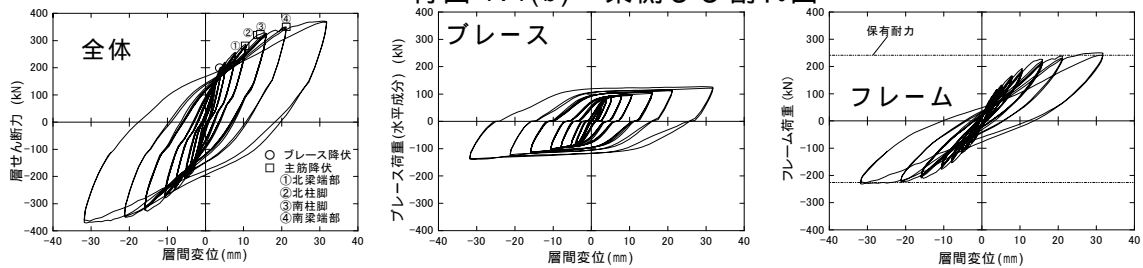
付図 1.4 に各試験体のひび割れ状況(制振ブレース取付状態での最終ひび割れ)、付図 1.5 に全体(プロットは各降伏点)、ブレース、フレームの各荷重 - 変位関係を示す。フレーム荷重は層せん断力からブレース荷重水平成分を除いたものと定義した。また、付図 1.5 の破線は各試験体の設計時のメカニズム時耐力を表す。



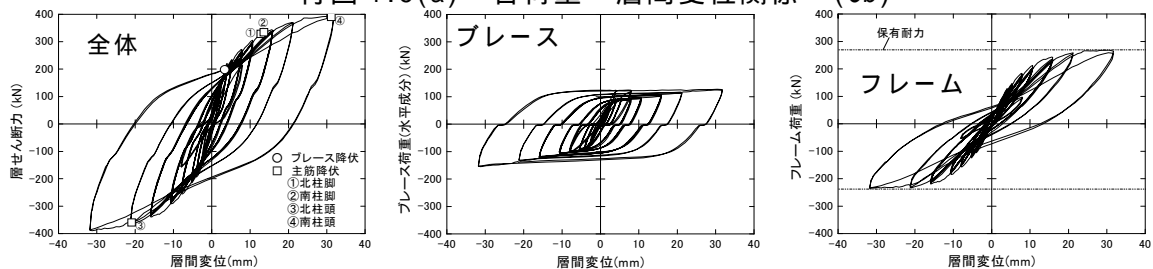
付図 1.4(a) 西側ひび割れ図



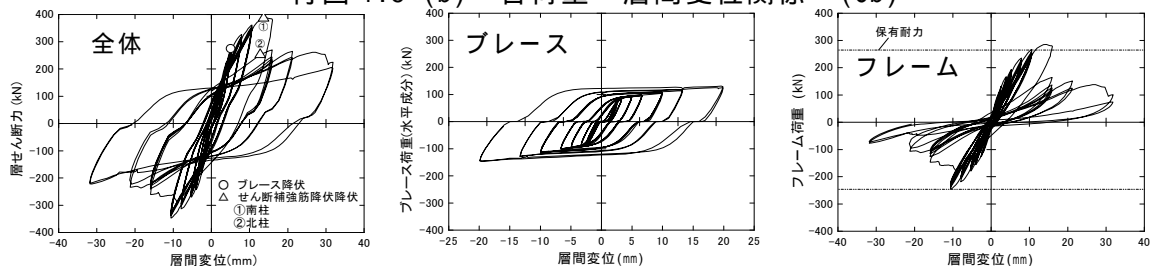
付図 1.4(b) 東側ひび割れ図



付図 1.5(a) 各荷重 - 層間変位関係 (Gb)



付図 1.5(b) 各荷重 - 層間変位関係 (Cb)



付図 1.5(c) 各荷重 - 層間変位関係 (Cs)

Gbの実験結果について、 $R=1/400\text{rad}$ 第1サイクル負荷荷時にブレースが降伏し()、次いで梁端部付近にて曲げひび割れが見られた。 $R=1/200\text{rad}$ では、第1サイクル正載荷時に北側梁端部の主筋が降伏した()。 $R=1/150\text{rad}$ では、第1サイクルの負荷荷時に両柱脚部の主筋が降伏した()。 $R=1/75\text{rad}$ では、梁端部のねじれ変形が進行し梁中央にねじれによるひび割れが顕著に現れた(付図 1.4(b) Gb)。 $R=1/50\text{rad}$ では、南側梁端部の主筋が降伏し()、設計時保有耐力に達し想定した梁曲げ降伏形の崩壊機構に至った。その際、梁端部のねじれ破壊には至らなかった。また、北側と南側の梁端部の比較より、ブレースを外付けすることにより、梁の損傷度合いが変わることも確認した。

Cbの実験結果について述べる。 $R=1/400\text{rad}$ の第1サイクル正載荷時にブレースが降伏し()、北側梁端部付近にてひび割れが見られたが(付図 1.4(a, b) Cb)、その後はひび割れが進行するが、幅の大きなひび割れは見られなかった。 $R=1/100\text{rad}$ の正載荷時に両柱脚部の主筋が降伏し()、また北側の梁端部にねじれ変形によるひび割れが見られたが、Gbと比較すると損傷度は少なかった(付図 1.4(b) Cb)。 $R=1/75\text{rad}$ の第1サイクル負荷荷時に北柱頭の主筋が降伏()、 $R=1/50\text{rad}$ の第1サイクル正載荷時に北柱頭の主筋が降伏し()、設計時保有耐力に達し想定した柱曲げ降伏形の崩壊機構に至った。その際、Gbと比較すると梁端部の損傷は少なかった。

Csの実験結果を述べる。Csは他の試験体に比べクリアランスの大きいピン(=±0.6mm)を用いたため、 $R=1/400\text{rad}$ ではブレースが降伏しなかった。 $R=1/300\text{rad}$ でブレースが降伏し()、柱頭、柱脚部でひび割れが見られ始めた。 $R=1/200\text{rad}$ ではせん断ひび割れが見られ、 $R=1/150\text{rad}$ では付着割裂を伴うせん断ひび割れが発生した。 $R=1/100\text{rad}$ では南柱のせん断補強筋が降伏し()、その後破裂音と共にせん断補強筋が破断し、せん断破壊を起こして急激な耐力低下が見られ、その際、北柱では付着割裂を伴うせん断ひび割れが顕著に見られるようになった(付図 1.4(a) Cs)。 $R=1/75\text{rad}$ で北柱のせん断補強筋も降伏し()、また南柱ではせん断補強筋の破断が1回、 $R=1/50\text{rad}$ でも1回発生し、さらに耐力の低下が進み、 $R=1/50\text{rad}$ の2サイクル目途中で柱の軸方向に縮む変形が増大し、軸力保持限界状態に至ったため載荷を終了した。しかし、柱のせん断破壊後から $R=1/50\text{rad}$ の1サイクル目までは、ブレースはエネルギー吸収を行った。また、梁の損傷はCb試験体と同程度と小さかった。

全試験体に共通して、ブレース取付裏側の梁側面でねじれひび割れが見られた。

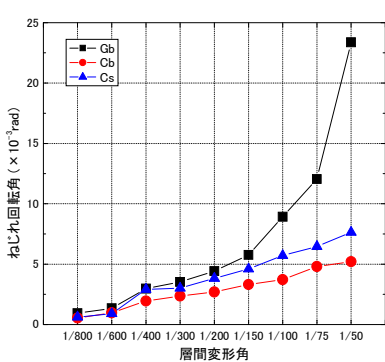
PC 鋼棒軸力保持率と梁端部損傷の関係

付図 1.6 にねじれ回転角 θ_r 、付図 1.7 に RC-定着板間滑り変位(以下定着板滑り変位) $\delta_{s/l}$ 、付図 1.8 に PC 鋼棒軸力保持率(=PC 鋼棒軸力/PC 鋼棒初期導入軸力)と、 R との関係を示す。付図 1.6 より、Cb、Cs に比べ、Gb が $R=1/100\text{rad}$ を超えてから θ_r が急激に増えていることがわかる。これは、他の試験体に比べ Gb は梁端部のねじれ耐力の余裕度が小さく、かつ梁端が曲げ降伏する試験体であるために、ねじれ変形が大きく進んだといえる。

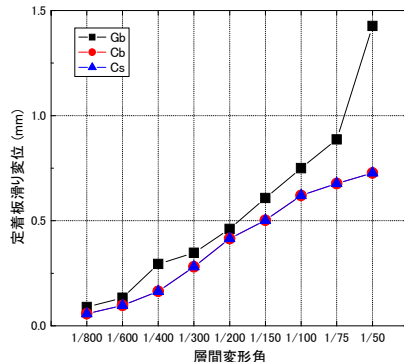
付図 1.7 より、Cb、Cs に比べ、Gb が $R=1/100\text{rad}$ を超えてから $\delta_{s/l}$ が急激に増えていることがわかる。また、付図 1.8 より、PC 鋼棒軸力保持率が、Cb、Cs は 90%以上を保持しているのに対し、Gb は $R=1/100\text{rad}$ を超えたあたりから 80%台まで低下している。さら

に、付図 1.6 と付図 1.8 より、 θ_i の増加と PC 鋼棒軸力保持率の減少が対応している。

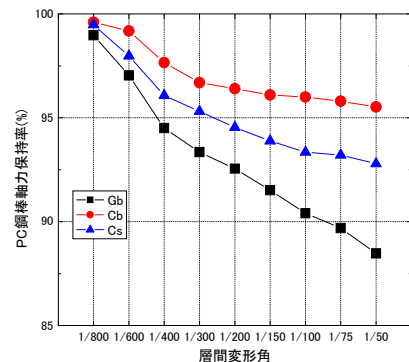
つまり、梁のねじれ変形および梁端部のひび割れ損傷の増大に伴い、PC 鋼棒の軸力が減少し、定着板の圧着度が減少することで、滑り変位が増大することがわかった。



付図 1.6 ねじれ回転角



付図 1.7 定着板滑り変位



付図 1.8 PC 鋼棒軸力保持率

実験より得られたロス変形成分

ブレースの変形性能低下の原因と考えられるロス変形成分として、梁端部のねじれ変形、定着板の滑り変位、定着板の浮き上がり変位、ピンのガタ、本実験においてはブレースに設置したロードセルのガタの要素が考えられる。

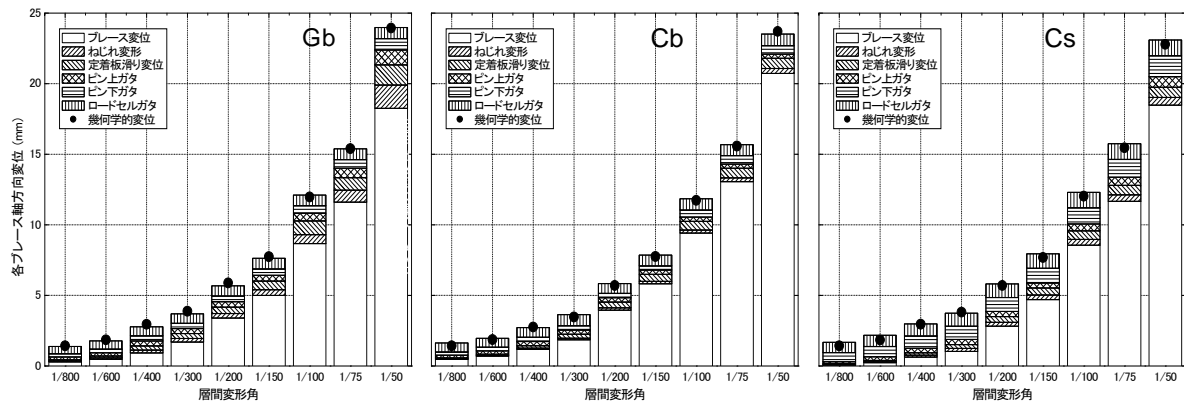
付図 1.9 に、各ロス変形成分にブレース変位を加えた値と、幾何学的変位 (= 全体水平変位 (付図 1.3 の変位計 D39) から幾何学的に求まるブレース軸方向成分) 値を、層間変形角ごとに示す。各ロス変形は全てブレース軸方向で生じており、ピン、ロードセルについては計測結果を直接使い、定着板の滑り変位はブレース軸方向に変換した。また、ねじれ変形 δ_{td} については付式 (1) に算出方法を示す。

$$\delta_{td} = \frac{b}{\theta_i} \left(1 - \sqrt{1 - \theta_i^2} \right) \cos \phi \quad (\theta_i = 0 \text{ の時, } \delta_{td} = 0) \quad (1)$$

ここに、 b : 梁の幅 (mm)、 ϕ : ブレース取付角度 ($^\circ$)

なお、定着板の浮き上がり変位については極微小であったために除外した。

付図 1.9 より、全試験体ともブレース変位とロス変形の和が概ね幾何学的変位とほぼ一致した結果であることから、接合部のロス変形の要素としては、ここで挙げた梁端部のねじれ変形、定着板の滑り変位、ピンのガタ (本実験においてはロードセルのガタ) が支配的であることが確認できた。また、最もロスの少ない Cb とロスの大きい Gb とを比較すると、Cb に比べ Gb のブレース変位の絶対量が少ないことがわかる。Cb と Cs を比較しても同様のことがいえる。このことから、接合部のロス変形はブレースのエネルギー吸収性能を低下させることとなる。



付図 1.9 各ブレース軸方向変位 - 層間変形角

謝辞

本建築研究資料は、平成 18 年度～20 年度に実施された（独）建築研究所の個別重点研究開発課題である「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発」の鋼構造分科会（主査：北村春幸東京理科大学教授）で行った一連の実験や解析結果に基づくものです。その後、平成 21～22 年度には、「鋼材ダンパーによる耐震補強建物の設計事例等検討委員会（主査：北村春幸東京理科大学教授）」を設置して、設計事例と換算 I_s 値の追加検討を行うとともに、上記の鋼構造分科会で得られた研究成果を、建築研究資料として取りまとめるための検討を実施しました。

「耐震化率向上を目指した普及型耐震改修技術の開発」の鋼構造分科会では、東京工業大学教授竹内徹先生及び千葉工業大学准教授藤井賢志先生に、ご指導いただくとともに、貴重な研究成果をご提供いただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

上記の 2 つの委員会では、（社）日本建築構造技術者協会、（社）日本鉄鋼連盟、（社）日本鋼構造協会にご協力いただき、委員を派遣していただきました。これらの委員会にご参加いただいた委員やオブザーバーの方々には、履歴型ダンパーを用いた補強の実験的検討や地震応答解析などの解析的な検討にご尽力いただきました。また、（社）日本鉄鋼連盟からは、鋼構造分科会で実施した一連の実験的研究に対して補助をいただきました。

本建築研究資料は、これらの方々のご協力によって完成したものです。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

© 建築研究資料 第 126 号

平成 22 年 12 月 20 日 印刷

平成 22 年 12 月 20 日 発行

編集 独立行政法人建築研究所
発行

〒305-0802 茨城県つくば市立原 1 番地

電話(029) 864-2151 (代)
