

第2章 枠なし外付け履歴型ダンパー補強工法

2.1 耐震補強工法の概要

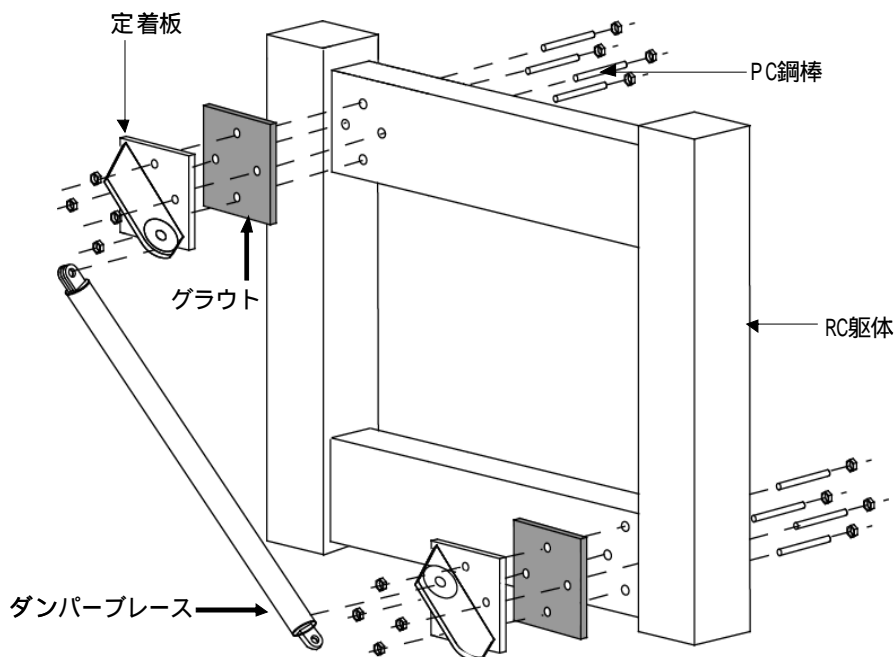
本工法は履歴型のダンパー部を有するブレース材を、既存架構の外側から PC 鋼棒、定着板およびグラウト材を介して接合するものであり、主に以下の特徴を有している。

補強工事（前後の準備・片付けを含む）においても、使用者が建築物を継続的に使用しやすい

小変形からダンパー部が機能するようブレース材の端部を既存架構に直接接合する

[解説]

低降伏点鋼等を有する履歴型ダンパー部から構成されるブレース材を解図 2.1.1 に示すように既存架構の外側から配置し、耐震性の低い層に生じる小さな応答変形レベルにおいて、ダンパー部の履歴吸収エネルギーに期待し、応答変形を抑えることを目的とした応答制御型耐震補強法である。ブレース端部は、鋼製の定着板（せん断伝達性能向上のために底面にコッターが設けられている）があり、定着板面と既存架構の構造部材間はグラウト材を介して、PC 鋼棒によって定着板を RC 構造部材端部（部材側面）に直接接合するため、施工に関する手間が少なく、空間を遮る範囲も小さいことから、使用者が建築物を継続的な使用しやすさに寄与する。また PC 鋼棒の接合はアンボンドおよびボンドいずれも対象とするが、前者の場合、地震後は構造躯体の修復のために、ブレース材を取り外して、再設置することも可能である。ここで、ブレース材が取り付けられる RC 構造部材は、梁または柱部材を対象としているが、柱部材については地震時に引張変動軸力を負担することも考えられ、そのような場合は部材のねじれ耐力が著しく低下することも考えられるため、柱部材に取り付ける場合においては、その点も設計時に留意することが必要である。



解図 2.1.1 枠なし外付け履歴型ダンパー補強

2.2 構造詳細

補強部材の詳細は以下に示すとおりである。

a. ダンパー部

エネルギー吸収性能の高い低降伏点鋼等または、摩擦ダンパーを用いる

b. プレース材

座屈拘束型、または座屈させない形状とする

端部はピン接合とみなせる接合方法とする

c. 接合部

定着板は、負担する最大荷重に対して損傷しないことを確認する

定着板底面には滑り抵抗に有効な対策を施す

定着板以外の定着具（ワッシャー、ナット類など）は緊張工法に定められたものを用いる

緊張材として、建築基準法 37 条および告示第 1446 号に定められた PC 鋼棒を用いる

グラウト材は、塩化物イオン量は JASS5 に準拠し、3.3 で必要とされる強度を有し、かつ施工において必要なコンシステンシーを有するものを用いる

[解説]

a. ダンパー部

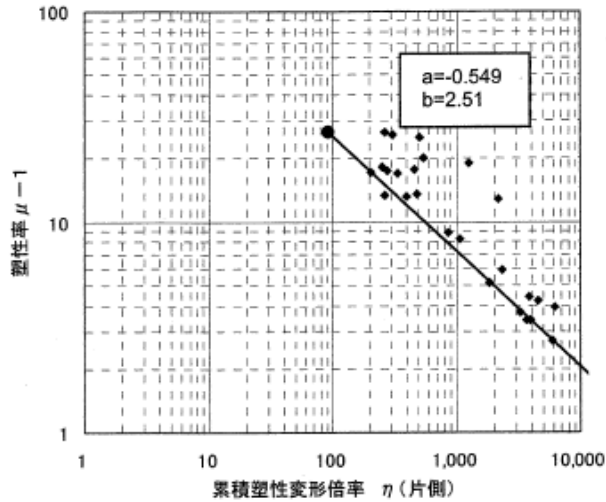
・鋼材ダンパーの場合

ダンパー部に用いる鋼材には、一般構造用鋼（SS 鋼：JIS G3101（2001））、溶接構造用鋼（SM 鋼：JIS G3106（2001））、建築構造用鋼（SN 鋼：JIS G3136（2001））の普通鋼や、低降伏点鋼（LY100、LY225 等）があるが、主として低降伏点鋼が用いられる。

低降伏点鋼は、鋼材ダンパーの減衰性能のばらつきに大きな影響を与える鋼材の降伏点ばらつきや伸び性能などの力学特性を改善した鋼材ダンパー専用の鋼材であり、高炉メーカー及び降伏耐力毎に建築基準法第 37 条 2 号による国土交通大臣の材料認定を受けている。低降伏点鋼の降伏点のばらつき幅は $\pm 20\text{N}/\text{mm}^2$ と規定されており、建築用鋼 SN400、SN490 などの降伏耐力幅 $120\text{N}/\text{mm}^2$ に比べて 1/3 程度と狭いものとなっている。低降伏点鋼では降伏点の規格幅の中央値を代表規格値としており、母材及び溶接部の基準強度（F 値）は降伏点規格幅の下限値となる。LY100、LY225 とともに振幅や繰り返し回数によって歪硬化による応力上昇が現れるが、LY100 の方がより歪硬化が顕著な材料となっている。

ダンパー部に建築用鋼等の普通鋼を用いる場合は、降伏点のばらつき幅が広い点を考慮しないと、補強設計で設定したダンパー部の降伏耐力で実際には塑性化せず、エネルギー吸収量を過小評価するケースがでてくる。そこで、ミルシートや材料引張試験結果の降伏点の値を用いてダンパーの断面サイズを決定するなど、確実にエネルギー吸収ができるようにする。

ダンパー部の保有エネルギー吸収性能を示す指標としては、累積塑性変形倍率がある。鋼材ダンパーの総エネルギー吸収性能は、変位振幅が大きくなるに従って小さくなる傾向があるため、累積塑性変形倍率も変位振幅を示す塑性率との関係で示される。保有累積塑性変形倍率は各ダンパーメーカーが製品・鋼種毎に実験データに基づき定めており、塑性率 10 程度で累積塑性変形倍率は 1000 程度以上となっている（解図 2.2.1 参照）。



解図 2.2.1 ダンパーの保有性能一例 (LY225)

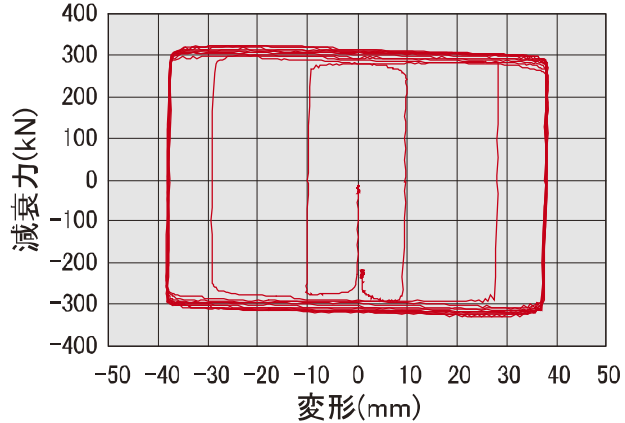
(技報堂出版「鋼構造建築物へのエネルギー法活用マニュアル」より転載)

・ 摩擦ダンパーの場合 (解図 2.2.2)

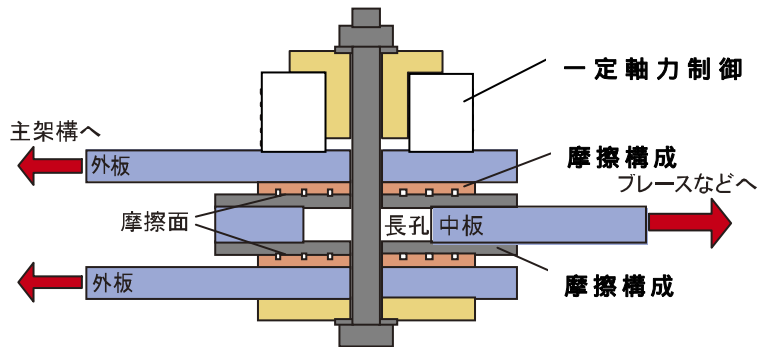
摩擦ダンパーの適用も可能である。摩擦ダンパーは接触する二つの固体間の摩擦力でエネルギーを吸収するダンパー (解図 2.2.3) である。一般鋼材ダンパーと比べ、降伏後の応力上昇が少なく安定的な挙動を示す。摩擦ダンパーのダンパー部は、製品によって摩擦面に面圧を作用させる軸力の発生機構 (解図 2.2.4、5 参照) や摩擦面の形状、摩擦材の材質等が異なるため、性能確認が重要となる。



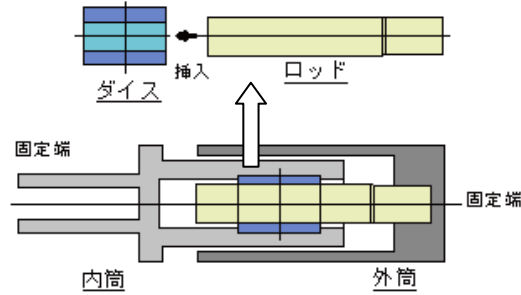
解図 2.2.2 摩擦ダンパーの一例



解図 2.2.3 摩擦ダンパーの荷重変形関係の一例



解図 2.2.4 摩擦ダンパーのディテールの一部 (ボルト締めタイプ)

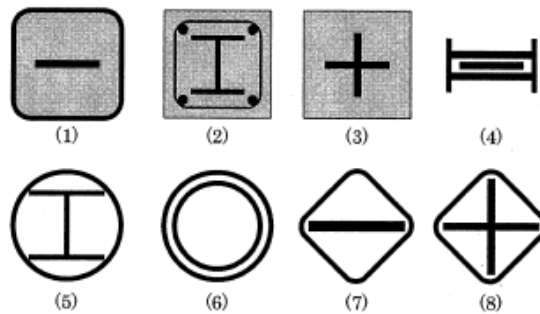


解図 2.2.5 摩擦ダンパーの詳細の一例（シリンダータイプ）

b. ブレース材

鋼材ダンパーの場合、ブレース材はダンパー部が圧縮変形した時に全体座屈や局部座屈を起こさないように必要な剛性を持った靴状の補剛材で座屈拘束した形状となる。座屈拘束の方法としては、平鋼や十字型のダンパー部を鋼管コンクリートや、円形又は角形の中空鋼管で拘束する方法や、ダンパー部となる鋼管を一回り大きい鋼管で拘束する方法など（解図 2.2.6 参照）がある。それぞれ、圧縮・引張時に対称で安定した復元力特性が得られるように、座屈拘束材にダンパー部の軸力が伝達されないような工夫がなされている。

摩擦ダンパーの場合は、解図 2.2.7 に示すように、ブレース材はダンパー部と長さ調節のための部材を直列に接合した形状となる。



解図 2.2.6 鋼材ダンパーの構成例

（JSSI「パッシブ制振構造 設計・施工マニュアル」より転載）



解図 2.2.7 摩擦ダンパーのブレース材

c. 接合部

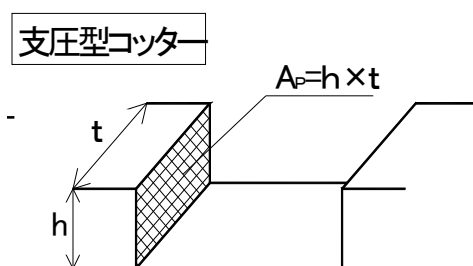
定着板の厚さ：

(1) 設計における基本事項

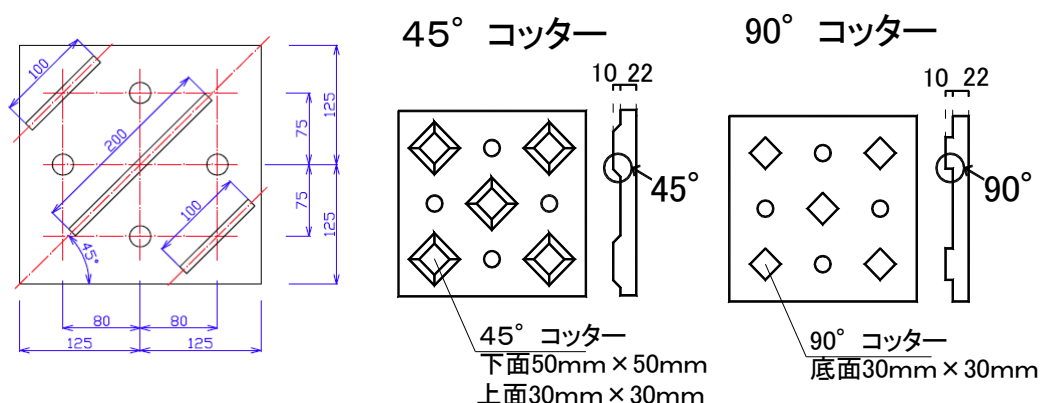
取付け部がほぼ剛接とみなせる性能を保持し、かつ定着板が損傷しない強度を与えることが必要である。

定着板の底面形状：

定着板の底面（既存躯体面）には、せん断力によるずれ剛性を確保するため支圧コッターを設ける。コッターの支圧面積 A_p （解図 2.2.8 参照）は、実験で確認した範囲として、定着板面積 A のおよそ 3% 以上とする。コッターの形状例を解図 2.2.9 に示す。図中左は幅、高さともに 10mm の鋼材を溶接している。また図の中央および右は角形（高さ 10mm）の鋼材を溶接しており、いずれもせん断抵抗を考慮してバランス良く配置することが必要である。



解図 2.2.8 支圧面積 A_p



解図 2.2.9 定着板裏面のコッター形状例

定着具は PC 鋼材を直接保持する器具で、本工法で使用するナット類も含まれる。これら定着具については、プレストレストコンクリート構造の定着装置および接合部について、2009 年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例に示されている試験方法によって性能確認されていることを原則とする。従って、新たに開発された定着具については上記通達を参考に、実験などによって性能の確認を行うことが必要となる。

緊張材については、平成 12 年建設省告示第 1446 号の第一第 21 号に指定されている日本工業規格（JIS G3109 1994）に適合する PC 鋼棒でなければならない。これらの規格に適合しないものを用いる場合は、法第 37 条第二号の規定に基づき前述の告示の別表第 2 の品質基準およびその測定方法などに適合するものとして、国土交通大臣の認定を受ける必要がある。

グラウトは適切なコンシステンシーを得られる範囲で、水セメント比を小さく選び、所定の圧縮強度を持つもので、適度の膨張率と水密性に富み、接している PC 鋼棒を防錆するのに十分な性能を有する必要がある。

まず、グラウトの塩化物イオン量について、JASS5 で定められている値に対して、グラウト内の塩分量総和が超えないことが必要である。またコンシステンシーは JP ロート試験によってその粘性度が分類されている。ここでの使用箇所は、定着板と既存 RC 躯体面との間部分であり、低粘性から高粘性タイプを目安にすることができる。

グラウトの圧縮強度については、PC 鋼棒で圧着されるため、躯体側コンクリートの強度以上有することが原則である。通常であれば 30Mpa 以上が目安となろう。

2.3 接合部設計等の手順と補強工事

(1) 接合部の補強設計等の手順

接合部の設計とブレース材の軸力を負担する柱部材の安全性の検討について手順を示す。

ブレース材が負担する水平力の算定

ダンパー部、ブレース材および定着板の仕様決定（低降伏点鋼の種類、断面、ブレース材の座屈拘束機構や取り付け角度、定着板厚さ、底面コッター形状など）

接合部の設計および必要な余裕度の保証（接合部においてダンパー部降伏前後の破壊やダンパー部のエネルギー吸収を妨げるロス変形が生じないように設計）

既存架構・基礎及び設置地盤の安全性評価（既存架構の構造部材ならびに地盤での破壊が起きないことを確認）

脱落防止の検討

取り替え手順の検討（PC 鋼棒がアンボンド施工される場合）

(2) 補強工事

取り付け工事の基本的な工程（構造部材端部と基礎部別）と留意点を示す。

- ・ 上部 RC 構造部材： 接合部である構造部材側面の目荒らし PC 鋼棒用穿孔（取り外しを考慮する場合は PC 鋼棒の直径に対して、+3 ~ +5mm 程度のクリアランスを設ける） 定着板のセットおよびグラウト材の充填、養生 PC 鋼棒軸力導入
- ・ 基礎構造部材： 床スラブ開口工事（開口補強を含む） 取り付け部の側面の目荒らし PC 鋼棒用穿孔（取り外しを考慮する場合は、PC 鋼棒の直径に対して、+3 ~ +5mm 程度のクリアランスを設ける） 定着板のセットおよびグラウト材の充填、養生 PC 鋼棒軸力導入

[解説]

(1) 接合部補強設計の手順は以下のように行う。

既存建物の保有耐震性能（例えば 1s）に対して、必要なダンパー部の負担すべき水平耐力を決定する。

前項で定めた必要な水平耐力に基づき、ダンパー部に求められる必要なエネルギー吸収性能を満足するよう、ダンパー部およびブレース材の詳細（取り付け角度を含む）を決定する。また定着板の材料や形状、PC 鋼棒の導入力を 3.3 に基づき算定する。

接合部の耐力を算定し、ダンパー部が早期降伏することを確認する。また、ダンパー降伏後のエネルギー吸収性能を保証するために接合部耐力の安全余裕度について検討する。このとき、PC 鋼棒の導入力不足の場合は、 の検討に戻り定着板の仕様を変更する。また、接合部において顕著に発生するロス変形がある場合はそれらを適切に評価する。

ダンパー部の反力を受ける既存建物の部材・基礎および地盤の安全性能を検討する。

(2) 補強工事については、現況に応じて行うことが原則である。ここでは、一例として取り付け手順を以下に示す。また品質確保のために、定着端の防錆、保護を行う。

目荒らし作業

グラウトと RC 躯体は、PC 鋼棒の導入力を抗力とした摩擦力によって接続される。従って、既存 RC 架構との接合面は目荒らしを行って、十分な接着強度を保有させる必要がある。



写真 2.3.1 目荒らし



写真 2.3.2 定着板取り付け



写真 2.3.3 グラウト養生