

高層鉄筋コンクリートビル用ハイブリッド制震システムの試験

中澤 昭伸*1・中田 安洋*2・石川 晃*3・小山内 裕*4

1. はじめに

平成7年(1995年)1月17日に発生した阪神大震災は建物に多大な被害をもたらした。近年、地震対策の一つとして、注目を浴びているのが免震や制震と呼ばれる建築構造である。現在さまざまな制震工法が提案されている。その中に制震システムを構成する部材として低降伏点鋼材を用いた履歴吸収型のパネルダンパーがある。

この制震ダンパーの特徴は、風や微小地震での揺れに対してはせん断剛性により変形に抵抗し、中大地震に対しては鋼材の塑性化により振動エネルギーを吸収して地震応答(揺れ、水平力)を低減することにある。

この試験は、Hi-RCの高層住宅にパネルダンパーをプレキャスト部材を使用して取り付ける計画があり、ハイブリッド制震システムの共同研究として制震ダンパーとRC造構造体との接合方法の開発、および接合部の安全性、終局耐力の確認のために実施された。

2. 試験概要

制震ダンパーを設置した概念図を図-1に示す。制震ダンパーはプレキャストの腰壁および垂れ壁を介してRC梁に接合する。高じん性で低耐力の極低降伏点鋼を用いた制震ダンパーは地震時に柱・梁の主要構造部材に先行して降伏し地震エネルギーを吸収することにより建物の地震応答を低減する。

制震ダンパー単体の試験体を図-2に示す。寸法は実物の1/2である。

試験体は縦フランジプレート(SM490A, $t=12$)ではさまれた低降伏点鋼板(BT-LYP100, $t=6$)を片面は横リブ(SM490A, $t=6$, $h=47$)もう片面は縦リブ(SM490A, $t=6$, $h=47$)で補強し、上下にベースプレート(SM490A, $t=16$)を溶接したものである。ただし、タイプ3は接合部のせん断耐力確認が目的であるのでパネルが降伏しないようすべてSM490Aで製作した。

各試験体は以下を目的として製作された。

- ① 接合部の安全性の確認(タイプ1)
- ② 2方向載荷時の構造性能の確認(タイプ2)
- ③ 接合部の耐力の確認(タイプ3)

制震ダンパーとプレキャスト腰壁およびRC造梁の3部材を図-3のようにPC鋼棒で圧着接合して一体化する。

2.1 加力方法

制震ダンパーの加力方法は3つのタイプがあり、各加力

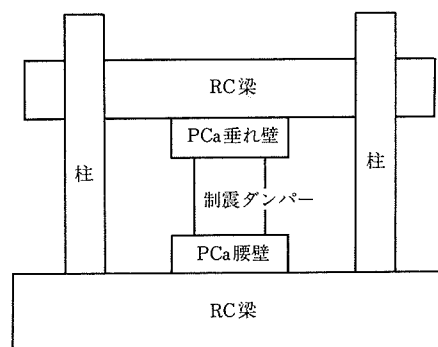


図-1 制震システム概念図

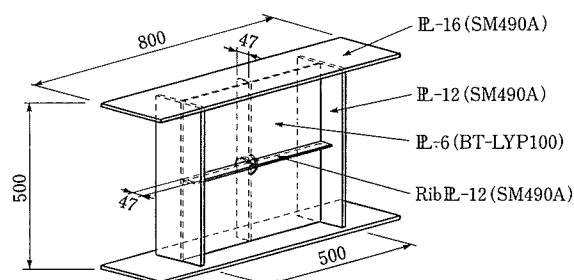


図-2 制震ダンパー試験体

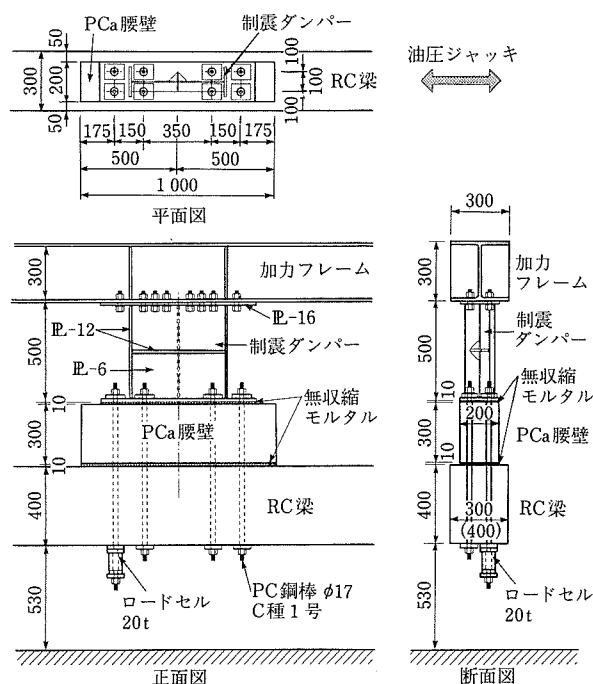


図-3 圧着部詳細図

*1 Akinobu NAKAZAWA: (株)織本匠構造設計研究所

*2 Yasuhiro NAKATA: 新日本製鐵(株) 建築事業部 建築鉄構部

*3 Akira ISHIKAWA: オリエンタル建設(株) 技術研究所

*4 Yutaka OSANAI: オリエンタル建設(株) 技術部

◆ 研究報告 ◆

装置を図-4, 5に示す。制震ダンパーの上フランジにL形の加力フレームを高力ボルトで接合しダンパー中央部が反曲点となるように水平加力した。

(1) タイプ1

構面内1方向による正負交番繰返し水平荷重を最大 $P=50\text{tf}$ まで加えた。

(2) タイプ2

構面外は制震ダンパーの面に直角に横力を加えダンパーと腰壁の加力側の目地が縁切れをしたときのフランジの変位が 5.9mm の状態を保つよう制御し構面内正負交番繰返し水平荷重と構面外変位制御水平荷重を加え、構面内は荷重を最大 $P=50\text{tf}$ とし、 50tf 到達以降は $P=50\text{tf}$ で繰返し載

荷し、パネルダンパーの面外挫屈発生まで繰り返した。

(3) タイプ3

ダンパーと腰壁の接合部のせん断耐力と腰壁とRC梁のせん断耐力を確認するために片押し単調載荷を行った。

図-6にタイプ2のRC梁の断面図を示す。

2.2 加力スケジュール

① タイプ1, 2の加力スケジュールを図-7に示す。 $\Delta_y=1.3\text{mm}$ として、各サイクルは Δ_y の奇数倍の正負変形を2回ずつ繰返し $\Delta/\Delta_y=21$ 倍($\Delta=27.3\text{mm}$)まで続ける。ただし水平力の最大値は 50tf とする。

② タイプ3は片押し単調載荷とし、接合部が滑るまで載荷する。

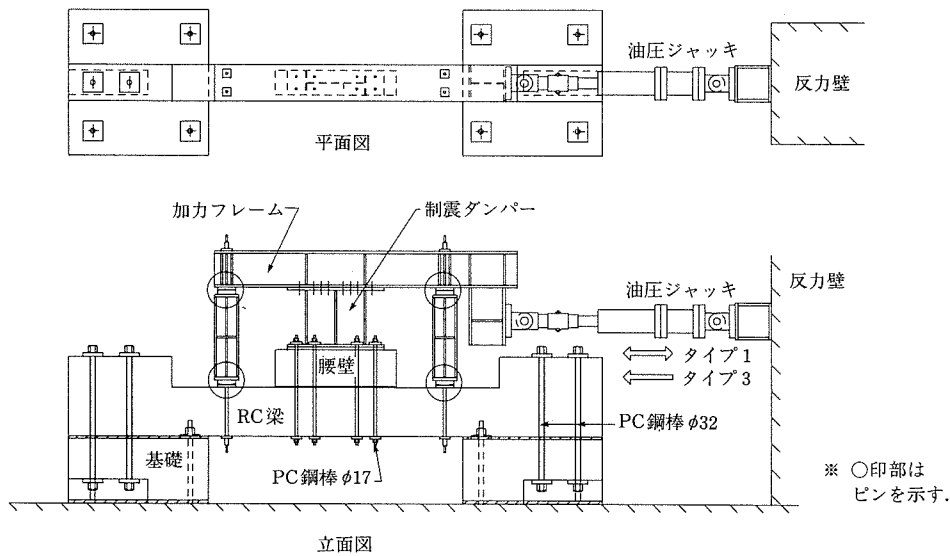


図-4 加力装置 (タイプ1,3)

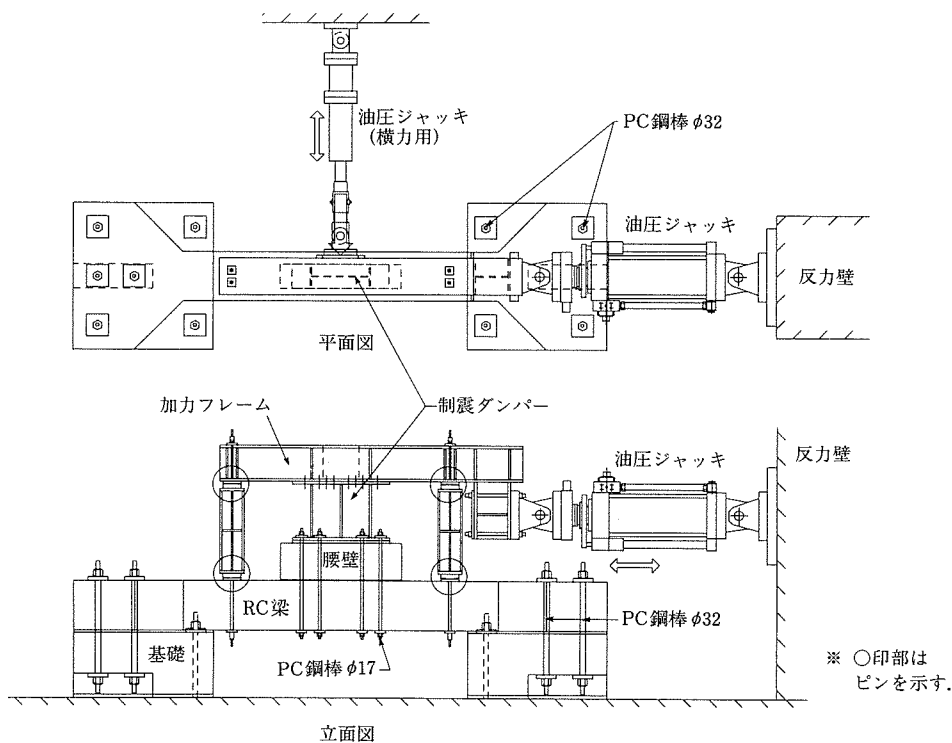


図-5 加力装置 (タイプ2)

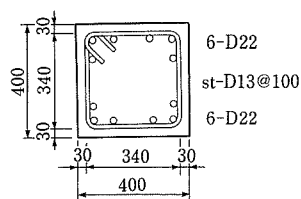


図-6 RC梁断面図

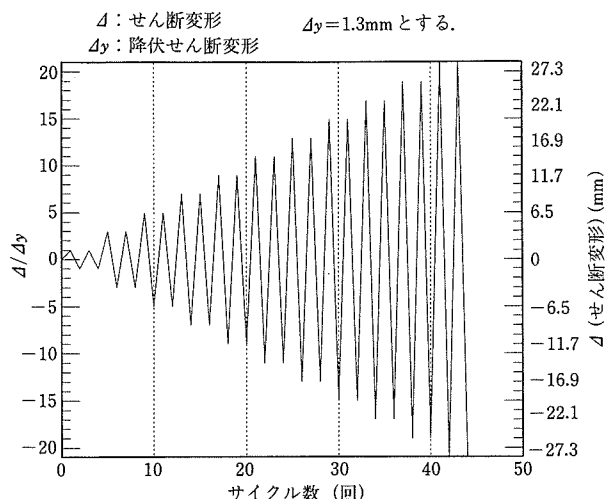


図-7 加力スケジュール (タイプ1,2)

2.3 材 料

本試験に使用した材料の試験結果を表-1~4に、PC鋼棒の圧着力を表-5に示す。

表-1 コンクリートの材料試験結果

部 材	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
基 礎	53.1	32.8
梁・腰壁	49.7	33.9

表-2 目地モルタルの材料試験結果

目地の位置	圧縮強度 (N/mm ²)
腰壁とダンパー (材齢7日)	50.9
梁と腰壁 (材齢28日)	56.2

表-3 鉄筋の機械的性質

径	種 別	公称断面積 (mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
D10	SD295A	71.0	210	377	510
D13	SD295A	127.0	210	372	505
D22	SD345	387.0	210	401	577

表-4 PC鋼材の機械的性質

径	種 別 (C種1号)	公称断面積 (mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	備 考
φ17	SBPR1 080/1 230	227.0	200	1 171	1 264	ダンパー圧着用
φ32	SBPR1 080/1 230	804.0	200	1 134	1 273	試験体固定用

表-5 PC鋼材の緊張力

	ダンパー圧着部	基礎と梁圧着部
PC鋼棒の径	φ17	φ32
タイプ1	12.5tf×8本=100.0tf	40tf×4本=160tf
タイプ2	12.5tf×8本=100.0tf	60tf×2本+70tf×2本=260tf
タイプ3	4.2tf×8本= 33.6tf	60tf×2本+70tf×2本=260tf

2.4 測定計画

[測定項目]

- ① 制震ダンパーとPCa腰壁の間の相対変位
変位計により接合部各部の水平方向、鉛直方向の変位を測定した。
- ② PCa腰壁と梁の間の相対変位
変位計により接合部各部の水平方向、鉛直方向の変位を測定した。
- ③ PC鋼棒の圧着力の測定
ロードセルおよびキャリブレーションを行ったPC鋼棒のひずみゲージによりPC鋼棒の応力変動を測定した。

3. 試験結果と考察

3.1 タイプ1について

図-7の加力サイクルで水平力が正荷重で最大値50tfに達するまで載荷を行った結果、図-8に示すように、ダンパーの層間変位は22.1mm (17サイクル目)で耐力低下を起さず安定した紡錘形の履歴を示した。またこのときのダンパーと腰壁の接合部の相対変位は0.06mm (図-9)、腰壁と梁の滑りは0.02mm (図-10)で変形は主として弾性変位によるものであった。

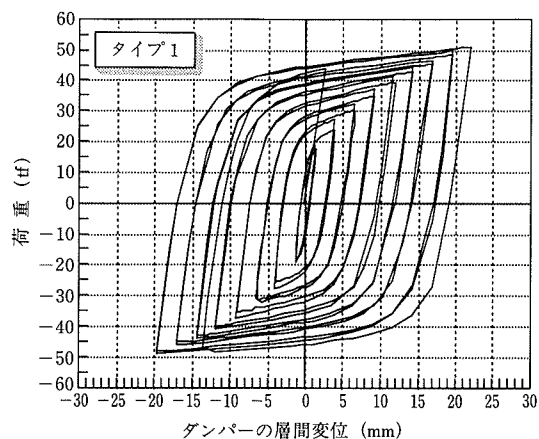


図-8 荷重-変位曲線 (タイプ1)

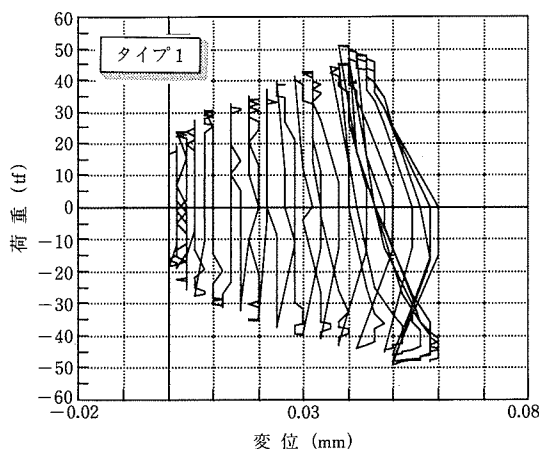


図-9 ダンパーと腰壁の相対変位 (タイプ1)

3.2 タイプ2について

ダンパーの層間変位27.5mmまで加力を行ったがタイプ1と同様に安定した履歴(図-11)を示した。ダンパーと腰壁の変位は0.2mm以下(図-12)で、腰壁と梁の変位は主に弾性変位により残留変位は0.5mm以下(図-13)であった。

3.3 タイプ3について

図-14のように荷重27.05tfで制震ダンパーと腰壁の接合部に約3.0mmの滑り変位が発生した。このときの接合部の

せん断力伝達の摩擦係数を求めると、PC鋼棒の圧着力は1本あたり平均4.2tfで8本で圧着しているので次の値となる。

$$\mu = 27.05/8/4.2 = 0.80$$

この値は設計値 $\mu = 0.5$ を上回っている。またこのときPCa腰壁と梁の接合部に滑り変位は発生せず(図-15)変形は主に弾性変位によるものであり、せん断耐力はダンパーと腰壁の接合部よりも高いことが確認された。

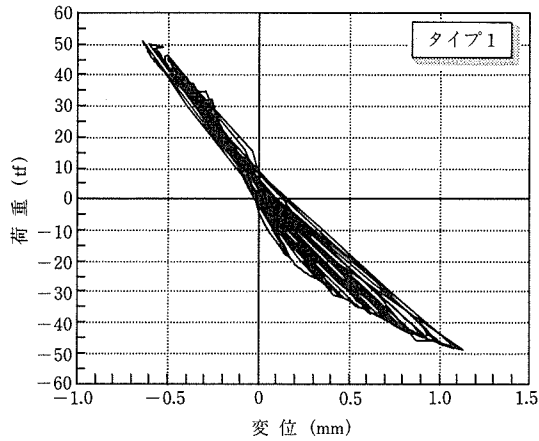


図-10 腰壁と梁の相対変位(タイプ1)

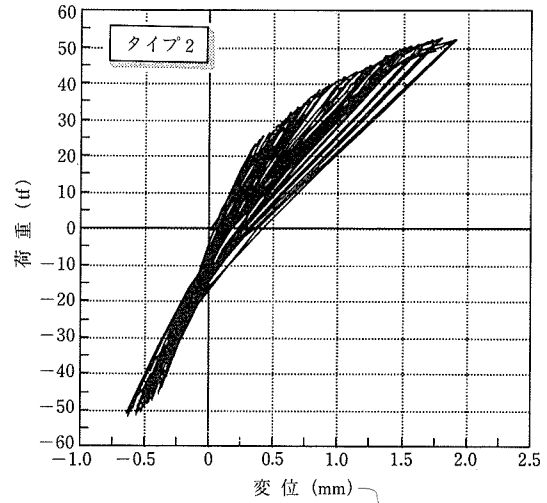


図-13 腰壁と梁の相対変位(タイプ2)

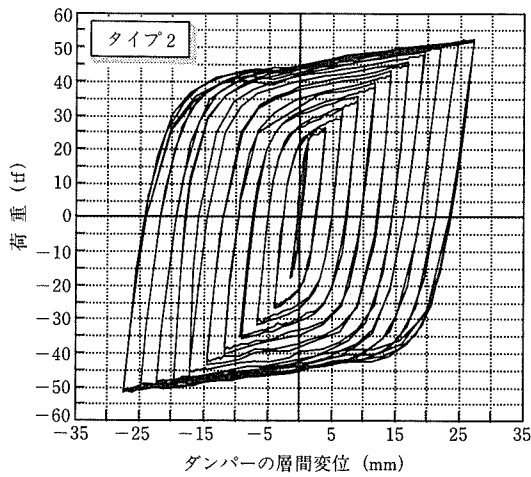


図-11 荷重-変位曲線(タイプ2)

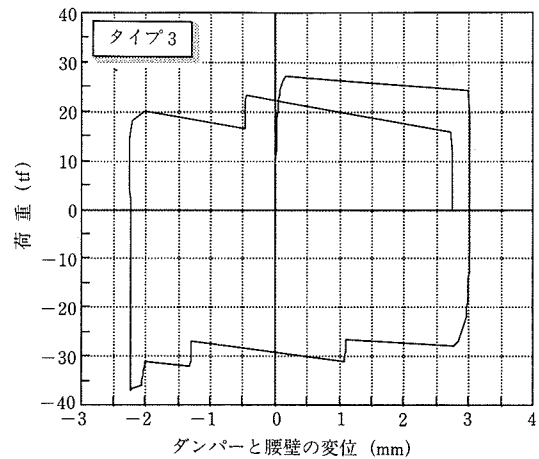


図-14 荷重-変位曲線(タイプ3)

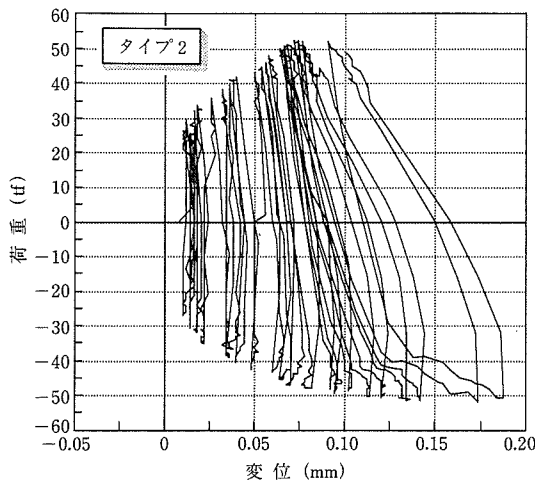


図-12 ダンパーと腰壁の相対変位(タイプ2)

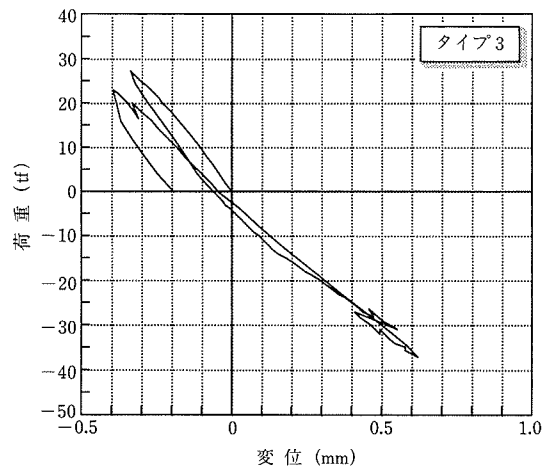


図-15 腰壁と梁の相対変位(タイプ3)

写真-1にタイプ2の加力状況を、写真-2に制震ダンパーの変形状態を示す。

図-16にタイプ2の梁のひび割れ図を示す。

ひび割れは加力サイクルの30回くらい(15倍)から発生しはじめ、最終サイクル(21倍)の試験終了時で図-16のようになった。これらのひび割れによる構造性能の低下は見られなかった。また、PCa腰壁にはひび割れは発生しなかった。

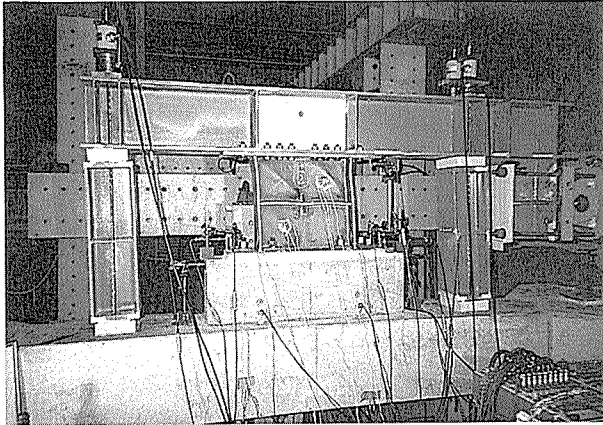


写真-1 加力状況 (タイプ2)

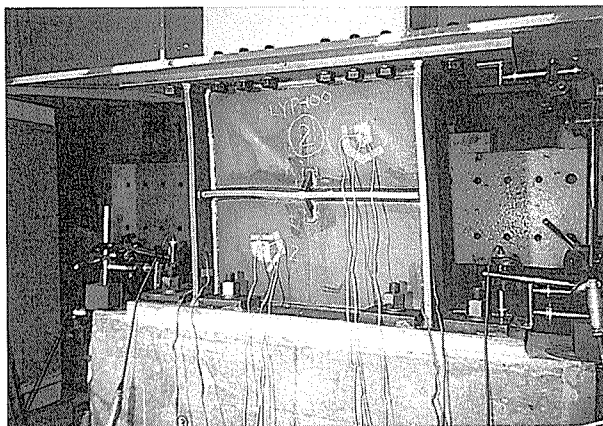


写真-2 ダンパーの変形状態

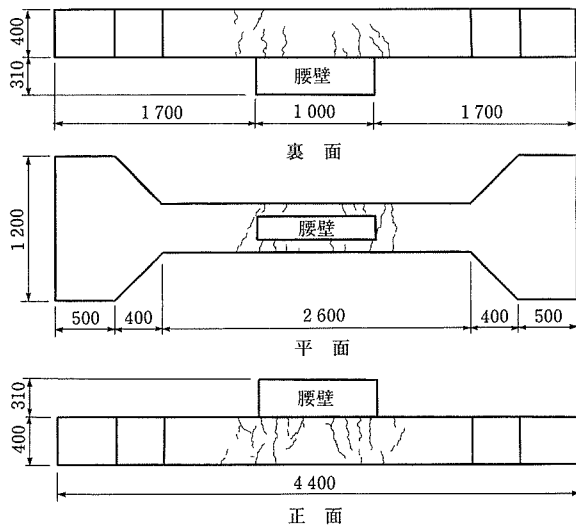


図-16 梁のひび割れ (タイプ2)

3.4 PC鋼棒の応力変動について

図-17にタイプ1の、また図-18にタイプ2のダンパー、腰壁、および梁を圧着したPC鋼棒の応力変化を示す。

タイプ1の最大変化量は -0.57 tfであった。これは圧着力($P=12.5$ tf)の4.6%である。載荷終了後、荷重を0としたときに圧着力は 0.35 tf減少した。これは圧着力の2.8%である。

タイプ2は構面外変位が 5.9 mmとなるように水平荷重を加えたときに $+1.05$ tf増えた。次に構面内水平荷重を加えスケジュールに従い最大 50 tfまで加えたときの最大変化量は $+1.05$ tf(8.4%)から -0.30 tf(2.4%)まで合計 -1.35 tfであった。載荷終了後、構面内荷重を0としたときの圧着力の増減は -0.15 tfとなり、さらに構面外荷重を0としたときの圧着力は -0.39 tf(3.1%)まで減少した。PC鋼棒の応力変化は完全弾性範囲であった。

実摩擦係数は $\mu=0.8$ で、設計用の摩擦係数 $\mu=0.5$ の60%増である。圧着力の減少量は実耐力の余裕度以内であった。

4. ま と め

極低降伏鋼材を用いたパネルダンパーをRC部材に取り付

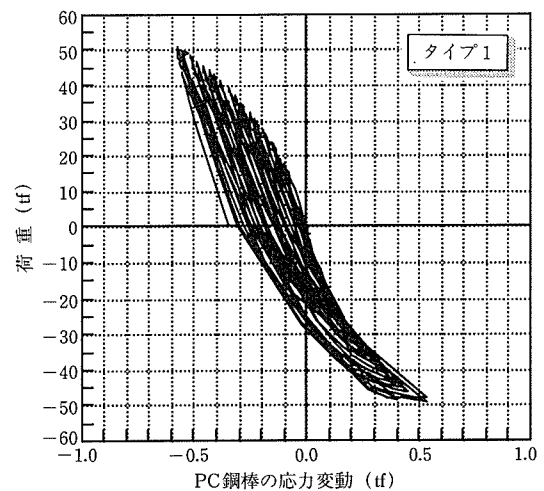


図-17 PC鋼棒の応力変動 (タイプ1)

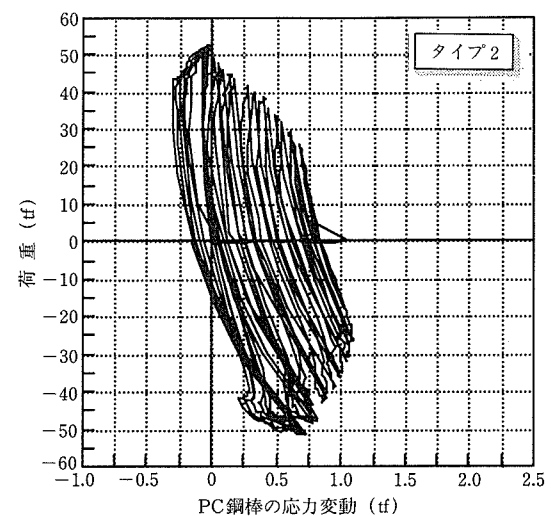


図-18 PC鋼棒の応力変動 (タイプ2)

◆ 研究報告 ◆

けるために接合部の耐力・安全性を確認することを目的として1/2スケールの模型実験を行った。その結果は以下のとおりである。

- ① PC鋼材の圧着接合によりRC部材に取り付けたダンパーは所定の構造性能を示した。
- ② 2方向載荷においてもパネルダンパーの構造性能に

影響は見られなかった。

- ③ 圧着接合部のせん断耐力は摩擦係数 $\mu=0.5$ (鋼材とモルタル間) として算定した耐力を上回っており、圧着用PC鋼材の応力減少が見られたが接合部は安全であった。

【1999年6月21日受付】

◀ 刊行物案内 ▶

第 8 回 プレストレストコンクリートの 発展に関するシンポジウム 論 文 集

(平成10年10月)

本書は、平成10年10月に松山で開催された標記シンポジウムの講演論文集です。

頒布価格：10 000円 (送料600円)

体 裁：B5判，箱入り

内 容：特別講演2編 (22頁)，講演論文集160編 (828頁)