

ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造の構造性能に関する研究

STRUCTURAL PERFORMANCE OF UNBONDED POST-TENSIONED BEAM-COLUMN CONNECTIONS WITH DAMPER

矢野貴大 — * 1 越川武晃 — * 2
溝口光男 — * 3 山下 仁 — * 4
上田正生 — * 5

Takahiro YANO — * 1 Takeaki KOSHIKAWA — * 2
Mitsuo MIZOGUCHI — * 3 Hitoshi YAMASHITA — * 4
Masaiki UEDA — * 5

キーワード：
ダンパー, アンボンド PC, プレストレストコンクリート, スティールバンド, 損傷制御構造

Keywords:
Damper, Unbonded tendon, Post-tensioned concrete, Steel-band, Damage-controlled structure

This paper presents a beam-end damper which is developed to improve energy dissipation capability of the unbonded post-tensioned concrete structure. To investigate the damper effects, a cantilever beam with dampers was tested under reversed cyclic loading. The experimental results indicate that a high energy dissipation unbonded post-tensioned concrete structure is readily achievable. And a method of modeling the damper for nonlinear analysis is also presented. Comparisons of the experimental results and calculated results lead to confirm adequacy of proposed model.

1. はじめに

近年, 地震時に建物が被る損傷を意図的に限定部位に集中させ, 主構造たる柱・梁部材は軽度な損傷の内に収める損傷制御構造に関する研究^{例え 1)~3)}が精力的に行われている。コンクリート系構造においては, この損傷制御構造を実現し得るものの一つとしてアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造が挙げられる。本構造は, 工場生産されたプレキャスト柱・梁部材を, アンボンドタイプの PC 鋼材により圧着接合するものであり, 高い原点指向性を示すとともに, 損傷が接合部近傍に集中するという特徴を持ち, 損傷制御の観点から大きなメリットを有している。また, 施工・解体が容易で, 解体後の部材のリユースも実現可能性があり, 昨今注目を集めている。しかし一方で, 変形が集中する柱・梁接合部を貫通する普通鉄筋が無い場合, 鉄筋の塑性化によるエネルギー吸収を期待できないという欠点も有している。

本研究は, この欠点を補うべく接合部近傍に取付ける梁端ダンパー (以下, ダンパー) を考案し, それを取付けることでエネルギー吸収性能と高い原点指向性, および施工性の良さを兼ね備えた新たな構造を実現させることを最終的な目標とし, その基本的な構造性能について検討したものである。本稿では, ダンパーを付加した片持ち梁載荷実験, 材料非線形解析法の提案と適合性の検討, およびそれを用いたパラメトリック解析について報告する。

2. 梁端ダンパーを付加した片持ち梁載荷実験

2.1 梁端ダンパー概要

本研究で提案するダンパーを付加したアンボンド PCaPC 柱・梁

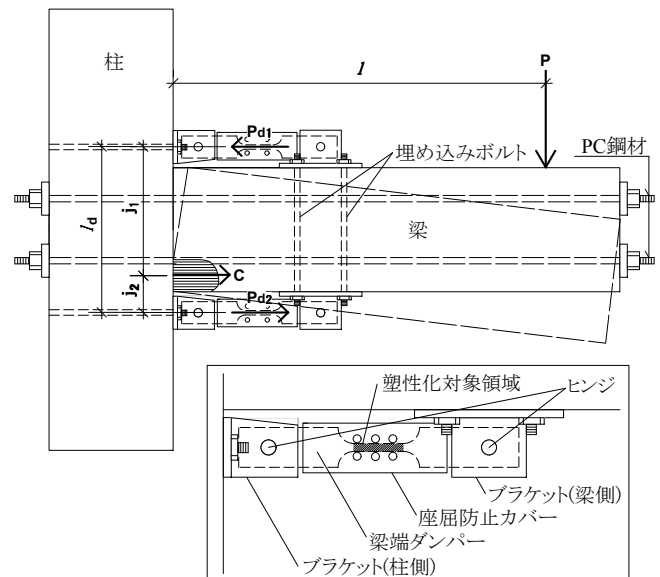


図 1 ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造

圧着接合構造の模式図を図 1 に示す。本ダンパーはアンボンド PCaPC 圧着接合構造の特徴である, 梁接合端が柱面から容易に離間する性質を利用し, この位置に設置して鋼材を塑性変形させることでエネルギーの吸収を図る鋼材ダンパーである。ダンパーは柱・梁に設置されたブレイクにボルトを用いて取付けられることで, その両端部がヒンジ機構となり, 軸力のみが作用するように意図している。さらに, 圧縮時にダンパーが面内外へ変形すること

¹ 鹿島建設(株) (元北海道大学大学院) 修士 (工学)
(〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30)

² 北海道大学大学院 助教・博士 (工学)

³ 室蘭工業大学 教授・工博

⁴ 雇用・能力開発機構秋田センター 講師・修士 (工学)

⁵ 北海道大学大学院 名誉教授・博士 (工学)

¹ Kajima Corporation, M. Eng.

² Assist. Prof., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

³ Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

⁴ Lecturer, Employment and Human Resources Development Org. of Akita, M. Eng.

⁵ Prof. Emeritus, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

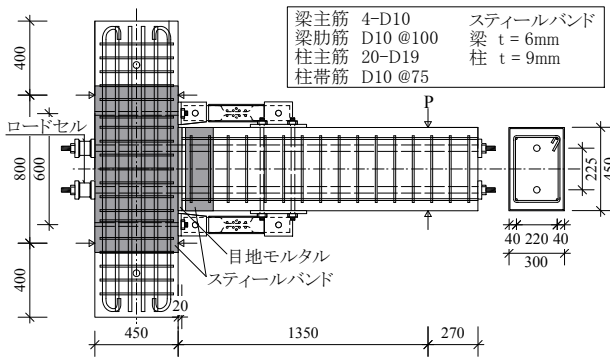


図2 試験体詳細

表1 コンクリートとモルタルの材料性状

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
コンクリート	54.1	24.1	3.78
モルタル	61.1	27.2	3.43

表2 鋼材の材料性状

材料	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
スティールバンド(梁)	SS400	-	397
梁主筋, 筋筋 (D10)	SD345	391	582
柱主筋 (D19)	SD345	402	550
PC鋼材	SBPR930/1080 B種	930	1080
ダンパー	SS400	279	431

を防ぐため、座屈防止カバーを取付ける仕様となっている。

ダンパーの負担力は塑性化対象領域の断面で調節が可能であり、その決定に際しては最上ら⁴⁾が提案する理論が有用なものと考えられる。これは即ち、アンボンドPC柱・梁一体型構造を対象に、梁の引張側鉄筋比を変えて実験した結果より、引張側鉄筋量の増加による梁の降伏モーメント増分 ΔM_y は以下の式(1)に示すように、引張側鉄筋によるモーメント増分で表現し得るというものである。

$$\Delta M_y = j \Delta T \quad (1)$$

但し、 j : 応力中心間距離, ΔT : 引張側鉄筋の負担力増分

つまり、柱・梁の間を貫通する鉄筋によるモーメント増分の重ね合わせが適用できるという仮定に基づいて、ダンパーを梁の外側に取付けた鉄筋のように扱うこととし、ダンパーによる梁のモーメント増分 ΔM_d を以下の式(2)のように概算する。

$$\Delta M_d = j_1 P_{d1} + j_2 P_{d2} \quad (2)$$

但し、 j_1 : 引張側ダンパーまでの応力中心間距離, j_2 : 圧縮側ダンパーまでの応力中心間距離, P_{d1} : 引張側ダンパーの負担力, P_{d2} : 圧縮側ダンパーの負担力 (以上、図1参照)

ここで、式(2)中の j_1 及び、 j_2 を推定する手法は未整備の状態にあるため、引張・圧縮の両ダンパーの塑性化対象領域が同じ断面である場合における設計時の簡易な耐力概算法として以下のような手法が考えられる。それは即ち、両ダンパーが共に圧縮強度、引張強度に達している ($P_{d1} = P_{d2} = P_d$) のものと仮定し、 $\Delta M_d = l P_d$ (l : 両ダンパー間の距離) とするものである。

2.2 実験概要

本研究で提案するダンパーを付加したアンボンドPCaPC圧着接合構造の構造性能を確認するため、片持ち梁試験体を一体作製し、正負交番繰返し荷重実験を行った。本実験では当研究グループが提案する“スティールバンドを有するアンボンドPCaPC柱・梁圧着接合構造”を採用した。同構造はアンボンドPCaPC圧着接合構造の特徴である、損傷が接合部周辺に集中するという点に注目し、これを防ぐべく鋼板(スティールバンド)を用いて接合部周辺を拘束補強したものであり、既往の実験⁵⁾により大変形時でも柱・梁部材の損傷を極めて軽微な範囲に留められることが確認されている。よって同構造にダンパーを付加することで、地震時に被る主架構への損傷を軽微な内に留めつつ、エネルギー吸収性能を保持した新たな構造が実現できるものと考えられる。

片持ち梁試験体の形状を図2に、各材料の機械的性質を表1、表2に示す。柱・梁部材の寸法、配筋等はダンパーが無い状態で行われた既往の実験⁵⁾で使用された試験体と同一に設定しており、ダン

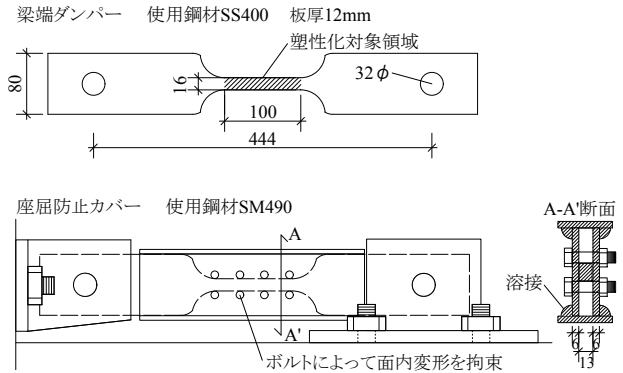


図3 ダンパーおよび座屈防止カバー詳細

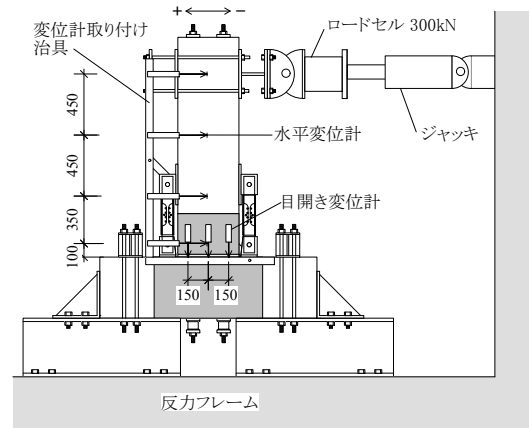


図4 荷重装置および変位計位置

パーの有無による比較を可能としている。試験体の組立てはまず、柱・梁の両部材間にモルタルを打設・養生した後、PC鋼棒により圧着し、最後にブラケットおよびダンパーを取付ける手順で行った。

本実験で使用したダンパーと座屈防止カバーの詳細を図3に示す。ダンパーの塑性化対象領域断面は12×16mmとしており、これを、引張・圧縮の両ダンパーが共に規格強度400N/mm²に達したものと仮定し、前述の式(2)に当てはめると、ダンパーが無い状態に比して終局耐力が約34kN増加することとなる(ダンパー鋼材の実引張強度431N/mm²を用いて算定すると、約37kNの増加となる)。座屈防止カバーは鞘状の形式とし、そこにダンパーを収め、内部で塑性化対象領域の面内座屈を拘束するためのボルトを貫通させる形式としている。

荷重装置および梁の変位測定位置を図4に示す。荷重は、梁が直立する状態で試験体を反力フレームに据付け、梁の先端部をジャック

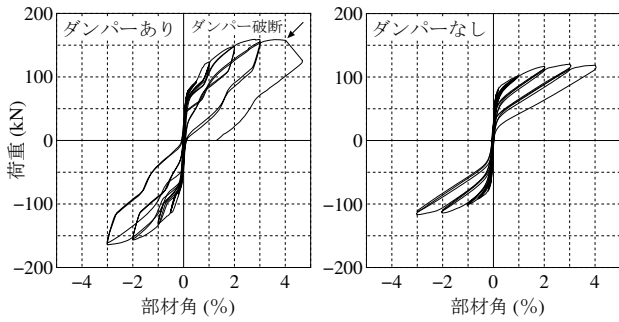


図5 荷重-部材角関係

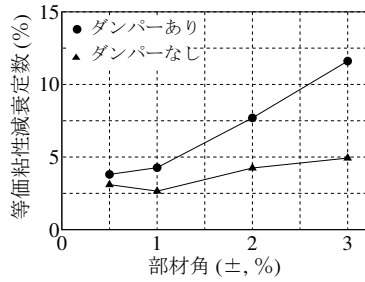


図6 等価粘性減衰定数

キに接続して行った。梁の変位測定については、変形状態を観察するための水平変位計と、柱接合面からの目開き状態を観察するための目開き変位計により行うこととした。载荷サイクルは部材角で、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ を各1サイクル、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ を各2サイクル、さらに $\pm 4\%$ を1サイクルと設定している。

2.3 実験結果

実験より得られた荷重-部材角関係を図5に示す。比較のため既往のダンパーなし試験体の実験結果⁵⁾と共に記す。なお、ダンパー付の試験体では部材角が $+4\%$ の時点でダンパーが破断したため、そこから除荷をして実験を終了した。

まず、梁の耐力を比較すると、ダンパーを取付けたことにより、耐力が38.1kN上昇しており、式(2)で示したダンパーによるモーメント増分概算式の妥当性が確認できる。履歴ループの形状について見ると、ダンパー付きの試験体ではがたつきがある形状となっていることが分かる。これは、ダンパーを取付ける際の施工性を考慮してダンパー両端のヒンジ部にクリアランス(ダンパーを取付けるためのボルトの軸とダンパーに開けた孔の間)を設けたことに起因するものである。しかし、ダンパー付きの試験体はダンパーがない試験体に比して膨らみを持った形状となっており、エネルギーの吸収性能が向上しているように推測される。そこで、等価粘性減衰定数による比較を試みる。部材角が $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 3\%$ 時の1サイクル目の等価粘性減衰定数を図6に示す。ダンパーがない試験体では部材角が伸展しても依然低い値を示しているが、ダンパー付の試験体では部材角が $\pm 2\%$ 時から顕著な上昇を示しており、エネルギー吸収性能に良好な改善が見られたことが分かる。

実験終了後の接合部近傍の梁のひび割れ状況は図7に示すように、両試験体とも目地モルタルの剥落が生じる程度で極めて軽微な範囲にあり、スティールバンドによる拘束補強効果が現れているものと考えられる。しかし、ダンパー付の試験体ではブラケット取り付け用の埋め込みボルト近傍でひび割れが生じていることから、設計時にはダンパーによる耐力増加によって、ブラケット取り付け位置

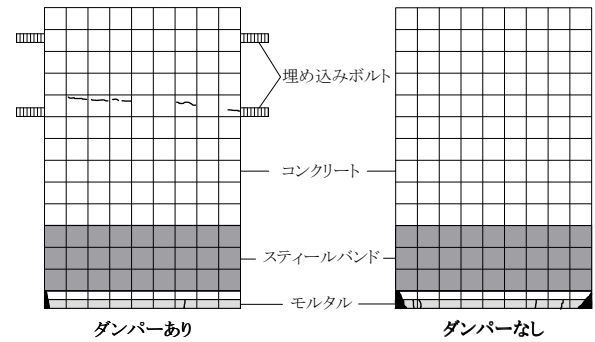


図7 ひび割れ図

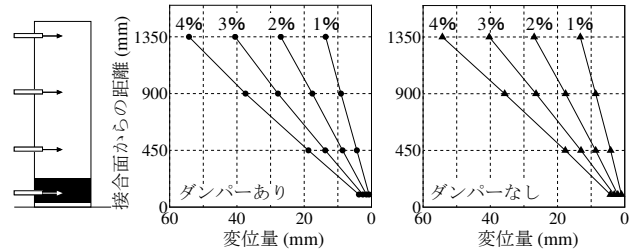


図8 水平変位

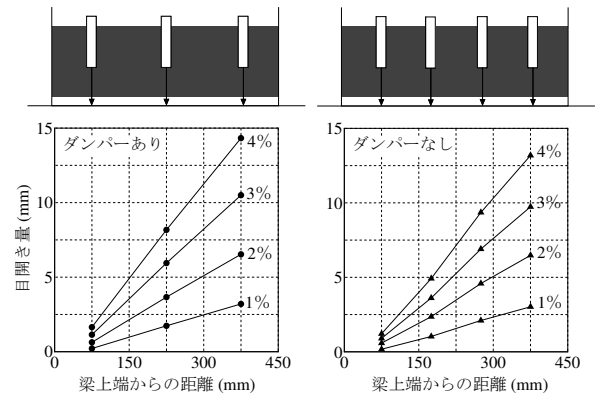


図9 梁端面の目開き量

における主架構の破壊を先行させないように、スティールバンドを当該箇所まで設置する等の補強策が必要であると考えられる。

続いて梁の変形状態について考察する。まず、図8に部材角が $+1\sim+4\%$ 時の各水平変位計の計測値を示す。これを見ると各部材角においてダンパーの有無に関わらず、いずれも直線的に変位が分布しており、梁がほぼ剛体として挙動していることが分かる。ダンパー付試験体で生じた埋め込みボルト近傍におけるひび割れについては、その影響が梁の変形状態には現れていないことも分かる。次に、アンボンドPCaPC圧着接合構造の特徴である梁端面の目開き状況について見ていく。図9には、部材角が $+1\sim+4\%$ 時の目開き変位計の計測値を示している。但し、ダンパーなしの試験体については、右上に示した変位計位置図のように4箇所測定を行っている。これを見るとダンパーを取付けても依然として、ダンパーが無い試験体と同程度に目開きを生じており、ダンパーが作動することに支障をきたしていないことが分かる。

3. 材料非線形解析法

3.1 梁端ダンパーの取扱い

本節ではダンパーを付加したアンボンドPCaPC柱・梁圧着接合部

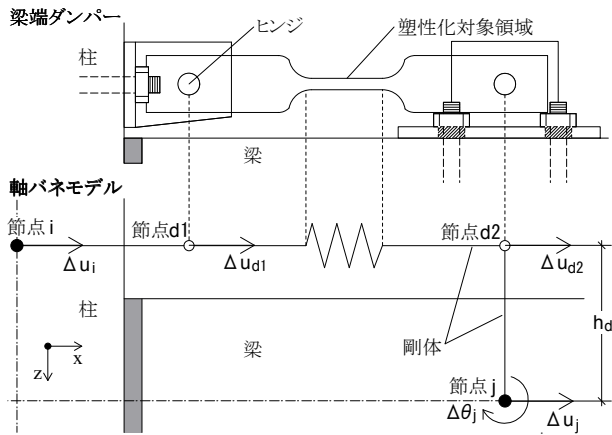


図 10 軸バネ要素による梁端ダンパーのモデル化

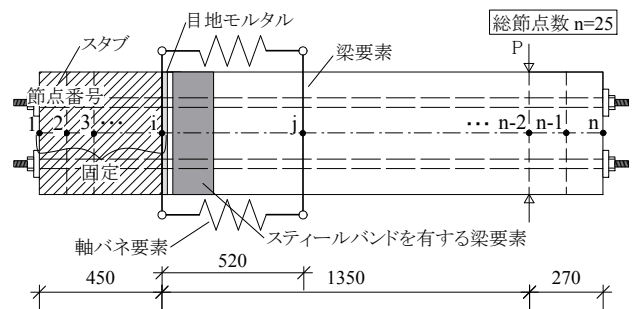


図 11 片持ち梁試験体の解析モデル

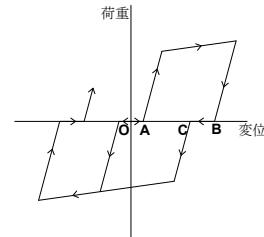


図 12 梁端ダンパーの材料モデル

材の材料非線形解析法を提案する。ここで提案する解析法は越川ら⁶⁾⁷⁾が提案する，“緊張鋼材の付着すべりを考慮した圧着型 PCaPC 梁-柱部材の履歴挙動解析法”を基に，ダンパーの効果を加味し得るように変更を加えたものである。本解析法はコンクリート梁要素を用いた有限要素解析法であり，以下に本解析法中でのダンパーの取扱いについて概説する。

ダンパーは図 10 に示すように，柱・梁部材の節点と関係付けられた軸バネ要素と見なし，その剛性を柱・梁の関係する節点剛性に重ね合わせることで，本解析中に組み入れている。まず，軸バネ要素の増分表示された有限要素方程式は以下の式 (3) のようになる。

$$k_d \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u_{d1} \\ \Delta u_{d2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta P_{ud1} \\ \Delta P_{ud2} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\Rightarrow [K_d] \{\Delta d\} = \{\Delta P_d\} \quad (4)$$

但し， k_d ：ダンパーの軸剛性， $\Delta u_{d1}, \Delta u_{d2}$ ：それぞれ節点 d_1, d_2 のダンパー軸方向 (x 軸方向) 変位増分， $\Delta P_{ud1}, \Delta P_{ud2}$ ：それぞれ節点 d_1, d_2 のダンパー軸方向荷重増分

ここで， $\Delta u_{d1}, \Delta u_{d2}$ を関係付けられた柱・梁の節点 i, j の x 軸方向変位増分 $\Delta u_i, \Delta u_j$ ，および回転方向変位 (右回りを正とする) 増分 $\Delta \theta_j$ により表すと以下の式 (5) のようになる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -h_d \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u_i \\ \Delta u_j \\ \Delta \theta_j \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta u_{d1} \\ \Delta u_{d2} \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\Rightarrow [T] \{\Delta b\} = \{\Delta d\} \quad (6)$$

但し， h_d ：梁の基準軸から節点 d_2 までの高さ (下方向を正とする) 式 (4) を 3 変数の連立一次方程式に拡張し，式 (6) の左辺を代入後，さらにその両辺に左から $[T]^T$ をかけると以下のようになる。

$$[T]^T [K_d] [T] \{\Delta b\} = [T]^T \{\Delta P_d\} \quad (7)$$

$$\Rightarrow [K'_d] \{\Delta b\} = \{\Delta P'_d\} \quad (8)$$

式 (8) は式 (4) で示した軸バネ要素の有限要素方程式が変換され，柱・梁の節点変位ベクトル $\{\Delta b\}$ により表された形式であり，変換されたダンパーの剛性マトリクス $[K'_d]$ の各要素を，柱・梁の全節点の剛性からなる全体剛性行列の対応する要素に重ね合わせることで，ダンパーの効果が加味されることとなる。

3.2 数値計算結果と実験結果の比較

前章で記述した実験で使用した片持ち梁試験体を図 11 のように

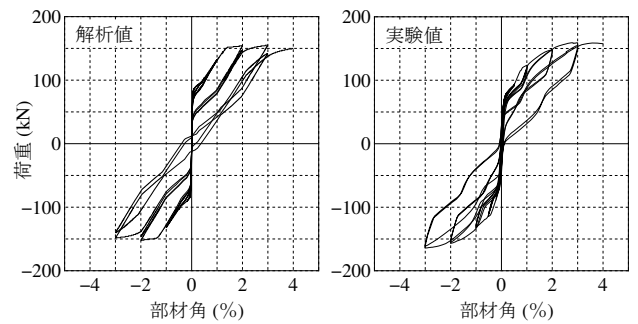


図 13 荷重-部材角関係

モデル化し，本解析法による数値解析結果と実験結果との比較を試みる。本モデルは試験体の柱にあたる部分をスタブとし，その位置における PC 鋼材のすべり変位以外の節点変位を拘束している。軸バネはスタブの右端節点 (図中の i 点) とそこから 520mm 離れた梁の節点 (同 j 点) に関係付けられている。設定したダンパーの材料モデルを図 12 に示す。本材料モデルは前節の片持ち梁載荷実験に先立って著者らが行ったダンパー要素実験⁸⁾の結果を参考としたもので，バイリニアモデルを基本としているが，その両端部に設けたクリアランスの影響を考慮するため，ダンパーに変位が生じてから荷重が伸び始める間 (図中の $O \rightarrow A$ 間) と，除荷後に荷重値の正負が反転する間 (図中の $B \rightarrow C$ 間) に遊びを設けたモデルとしている。数値計算に当たっては $O \rightarrow A$ 間の遊びを 2mm， $B \rightarrow C$ 間の遊びを 4mm と設定した。なお，ダンパーの破断については考慮していない。また，スチールバンドを有する部分はその軸剛性と曲げ剛性を加味した，スチールバンドを有するコンクリート梁要素を本研究で新たに設定した。目地モルタルの引張強度は，梁端面の柱接合面からの目開きを表現するため， 0 kN/mm^2 と設定している。

図 13 に数値解析結果と実験結果の荷重-部材角関係を示す。解析値は最大荷重およびスケルトン曲線の形状については概ね良好に追跡できているものと思われる。しかし，再載荷経路については解析値が前サイクルの除荷経路を辿る傾向が見られることに対し，右に示した実験値では荷重がより高めに推移し，膨らみを持ったルー

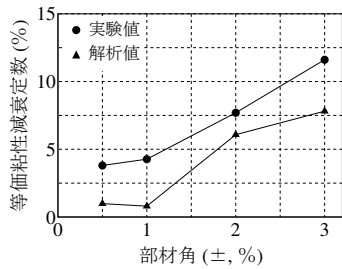


図 14 等価粘性減衰定数

ブ形状となる傾向が見られ、この点に関しては改善の余地があるものと思われる。残留変形について見ると、解析値では部材角が±3%からの除荷時に実験値よりも大きい残留変形を示しているが、これは数値解析ではPC鋼材の定着部でのめり込みやゆるみ等を考慮していないため、実際よりもPC鋼材が大きく塑性化し、それによるプレストレス力の低下が原因と考えられる。

等価粘性減衰定数について比較すると、図14に示すように、部材角が±2%時から値が大きく上昇する点の実験値と相似していることが分かる。ここで、解析値の方が若干低めの値を示していることも観察されるが、これは先に述べた再載荷経路の相違による履歴ループの囲む面積の減少が影響しているものと推察される。

4. パラメトリック解析

4.1 試験体およびパラメータ設定

本節では、前節で提案した解析法を用いてパラメトリック解析を試みる。ここで、解析対象として仮定した試験体は、第2節で示した片持ち梁試験体を十字型試験体に発展させたものであり、その梁・柱断面およびシアスパンについては片持ち梁試験体と同じであるが、柱の部材長は延長させており、さらにダンパーを接合部の上下左右4箇所に取り付けたものとする。同試験体をモデル化したものを図15に示す。なお、載荷サイクルについては片持ち梁載荷実験において設定したものと同一とした。

パラメータは履歴性状に大きく影響を及ぼすものと考えられるダンパーとPC鋼材の設定値とする。まず、ダンパーの設定値については本研究で提案する鋼材ダンパーの他、Morgenら⁹⁾が提案する摩擦ダンパーを取上げることとする。Morgenらは、本研究と同様にアンボンドPCaPc圧着接合構造に梁端ダンパーを付加する試みを行っており、そこでは柱・梁に取付けたブラケットの間でアルミ合金板を摺動させる摩擦ダンパーを採用している。

摩擦ダンパーの特徴は、滑り始めると荷重値が一定となる点にあり、数値解析には図15右下に示したような長方形に近いモデルを仮定し、ダンパーの軸バネ部に付与することでその効果を反映できるものと考えた。さらに、ダンパーの降伏荷重 P_{dy} についても検討するため、両ダンパーともその値を0kN(ダンパーなし)、35kN、70kN、105kNと変化させた。

一方、PC鋼材の設定値については初期導入プレストレス力 P_0 を310kN、540kN、770kNと変化させ、加えて、PC鋼材の降伏荷重 P_y に対する初期導入プレストレス力 P_0 (540kNとした場合)の比 P_0/P_y についても0.5、0.7、0.9と変化させた。以上、全ての解析ケースをまとめて表3に示す。

4.2 数値解析結果

本節では、梁に加わる最大荷重と等価粘性減衰定数について検討

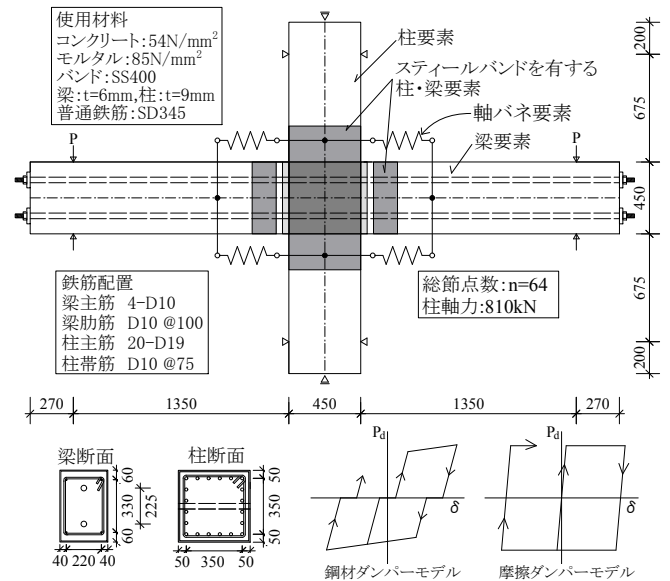


図 15 十字型試験体の解析モデル

表 3 解析ケース一覧

ケースNo.	プレストレス力 P_0 (kN)	P_0/P_y	ダンパー降伏荷重 P_{dy} (kN)	ダンパー種類	備考
1	540	0.7	0	-	基本タイプ
2	540	0.7	70	S	
3	540	0.7	70	F	
4	540	0.7	35	S	ダンパー降伏荷重 P_{dy} 変動
5	540	0.7	105	S	
6	540	0.7	35	F	
7	540	0.7	105	F	
8	310	0.7	70	S	プレストレス力 P_0 変動
9	770	0.7	70	S	
10	310	0.7	70	F	
11	770	0.7	70	F	
12	540	0.5	70	S	P_0/P_y 変動
13	540	0.9	70	S	
14	540	0.5	70	F	
15	540	0.9	70	F	

S:鋼材ダンパー, F:摩擦ダンパー

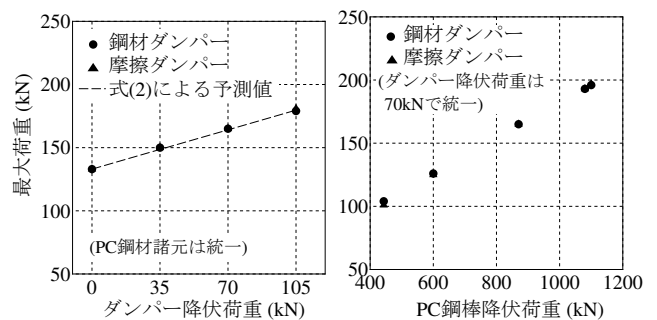


図 16 最大荷重値の比較

する。ここでは両値との因果関係を見る項目として、ダンパーの降伏荷重 P_{dy} と、PC鋼材の降伏荷重 P_y (設定した P_0 と P_0/P_y から導かれる)を取上げる。

まず、図16に各数値解析結果の最大荷重値とダンパー、およびPC鋼材の降伏荷重値との関係を示す。なお、左側に示したダンパー降伏荷重との関係を示した図には、ダンパーなし試験体(ケース1, $P_{dy} = 0$)の結果に、式(2)を用いて計算したダンパーによる荷重増分を重ね合わせた結果も併せて記している。但し、計算に当たって

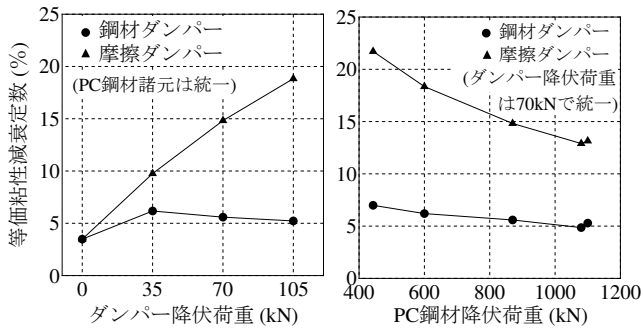


図 17 等価粘性減衰定数の比較

は $P_{d1} = P_{d2} = P_{dy}$, $j_1 + j_2 = 600\text{mm}$ とした。両図を見ると、ともに降伏荷重値が上昇すると梁の最大荷重値も線形的に上昇していることが観察されるが、これは第 2 節で記述した最上ら⁴⁾の理論、即ち、アンボンド PC 梁の耐力について柱・梁接合部を貫通する補強材によるモーメント増分の重ね合わせが適用し得るといものと合致していることが分かる。ただし、PC 鋼材量が多い場合など、コンクリートの圧壊により耐力が決まる際には必ずしもあてはまらないものと考えられる。また、左図を見ると、解析値と著者らが示したモーメント増分概算式(2)による予測値が近似しており、その妥当性もまた確認できる。なお、ダンパーの種別による最大荷重値の相違は認められなかった。

続いて、部材角が±3%時の1サイクル目の等価粘性減衰定数について検討する。前述の最大荷重値と同様に、ダンパーと PC 鋼材の降伏荷重値を横軸としてプロットしたものを図 17 に示す。まず、左側に示したダンパー降伏荷重値との関係を見ると、摩擦ダンパーでは降伏荷重値の上昇と共に値が増加しているが、鋼材ダンパーでは停滞していることが分かる。これは図 15 右下に示した両ダンパーの材料モデルを比較すれば分かるように、鋼材ダンパーはヒンジ部に設けたクリアランスにより、エネルギーの吸収量が相対的に小さくなったことが原因と考えられる。つまり、鋼材ダンパーでは降伏荷重値を増加させたことで、ダンパーによるエネルギー吸収量は増加したものの、梁の最大荷重値が増加したことによる等価ポテンシャルエネルギーの増加がそれを相殺してしまったために、このような結果となったものと推察される。このことからヒンジ部のクリアランスを無くすディテールとすることで、より良いエネルギー吸収性能が得られるものと考えられる。

一方、右側に示した PC 鋼材降伏荷重値との関係を見ると、両ダンパーとも降伏荷重値の増加に伴い値が小さくなっていく傾向が読み取れる。これは図 16 の右側に示した、最大荷重値と PC 鋼材降伏荷重値の関係を見れば分かるように、PC 鋼材降伏荷重値の増加による梁の耐力の増加によって、先の鋼材ダンパーの時と同様に等価ポテンシャルエネルギーが増加したことが原因と推察される。

5. まとめ

本論では、アンボンド PCaPC 圧着接合構造の欠点であるエネルギー吸収性能の低さを補うべく、梁端部に取付ける鋼材ダンパーを提案し、それを取付けた柱・梁部材の構造性能について検討した。以下に、本研究で得られた知見を列挙して示す。

- 1) 最上ら⁴⁾が提案するアンボンド PC 梁のモーメント増分概算法を用いて、ダンパーを付加した際の梁のモーメント増分概算式

を示した。

- 2) ダンパーを付加したアンボンド PC 圧着接合構造の片持ち梁載荷実験を行い、エネルギー吸収性能が改善されることを確認した。また、スティールバンドの効果で柱・梁部材の損傷が軽微な範囲に留められることも確認した。
- 3) 提案する構造の材料非線形解析法について概説し、片持ち梁載荷実験の結果と数値解析結果の比較を試みた。その結果、本解析法は最大荷重とスケルトン曲線の形状について良好に表現できているが、再載荷経路については検討の余地があることが分かった。
- 4) ダンパーと PC 鋼材の設定値を変化させたパラメトリック解析を行い、それらが梁の最大荷重値と等価粘性減衰定数に与える影響について検討した。その結果、ダンパーと PC 鋼材の降伏荷重値は、梁の耐力と比例関係にあることが分かり、先に示したダンパーによる梁のモーメント増分概算式の妥当性も確認された。また、ダンパーの性能によっては、その降伏荷重値を増大させてエネルギー吸収量を増加させても、等価粘性減衰定数に反映されない場合があることが分かった。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基礎研究(B) 課題番号 18360257)「スティールバンドを有するアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合機構の構造特性」(研究代表者: 上田正生)の補助を受けたものであることを付記し、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 吉敷祥一, 山田哲, 竹内徹, 鈴木一弁, 岡田健, 和田章: 損傷を梁端下フランジの接合要素に限定する新しい鋼構造骨組 その 1. ウェブ塑性化スプリットティを用いた柱梁接合部の実験, 日本建築学会構造系論文集, No.575, pp.113-120, 2004.1
- 2) 春日康博, 金子洋文, 木村秀樹, 藤谷義信: 靱性型接合金物を用いた鉄骨架構の実大実験, 日本建築学会構造系論文集, No.576, pp.133-140, 2004.2
- 3) 異英明, 中塚信, 浅川弘一, 寒川勝彦, 溝口茂: アンボンド PC 鋼材圧着工法と剥離性目地によるサステナブル PC 建築についての基礎研究(鉄筋コンクリート構造の新しい考えと構造新技術(2)), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), C-2, 構造 IV, pp.141-144, 2006.9
- 4) 最上達雄, 是永健好: 逆対称曲げを受けるアンボンド PC 梁の耐力・変形評価 -アンボンド PC 部材の構造特性に関する研究(その1)-, 日本建築学会構造系論文集, No.411, pp.29-38, 1990.5
- 5) 山下仁, 和田敏良, 越川武晃, 溝口光男, 上田正生, 小松憲一: アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合によるスティールバンドを有する梁の繰返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), C-2, 構造 IV, pp.903-904, 2008.9
- 6) 越川武晃, 齊藤隆典, 上田正生, 菊地優: 緊張鋼材の付着すべりを考慮した圧着型 PCaPC 梁-柱部材の履歴挙動解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.37-42, 2004
- 7) 越川武晃, 上田正生, 菊地優, 小林正仁: アンボンド PC 圧着工法を用いたエネルギー吸収型 PCa 架構の履歴挙動に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.73-78, 2006
- 8) 矢野貴大, 越川武晃, 上田正生, 菊地優: ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造に関する基礎的研究, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.82, pp.463-466, 2009.7
- 9) Brian G. Morgen, Yahya C. Kurama: A Friction Damper for Post-Tensioned Precast Concrete Moment Frames, PCI JOURNAL, pp.112-133, July-August 2004

[2009年6月18日原稿受理 2009年8月28日採用決定]