

論文 接合部を考慮した柱 RC 梁 S 構造架構の地震応答解析

飯塚信一*1・笠松照親*2・野口 博*3

要旨：接合部の復元力特性をも考慮した10層フィッシュボーンモデルによる柱RC梁S構造架構の地震応答解析を行い、接合部復元力特性の違いが架構に与える影響を検討した。解析結果から、柱RC梁S構造の固有周期は、RC構造とS構造の間にあり、接合部復元力特性を考慮することによる影響は、柱、梁部材の降伏状況や層間変形に現れることが認められた。解析結果の柱RC梁S構造接合部せん断力は、接合部せん断耐力の30%程度であり、10層程度であると接合部の復元力特性の違いが架構に与える影響は少ない結果となった。

キーワード：柱RC梁S構造、接合部、復元力特性、地震応答解析

1. はじめに

柱RC・梁S構造に関する研究では、接合部部材の強度や剛性の研究が主であり、架構に関する実験や解析的研究[1],[2]は少ない。しかし、柱RC梁S構造を設計する為には、架構としての全体挙動を検討し、接合部の挙動が全体挙動に与える影響を評価することが重要である。

本研究では、筆者等が開発した新しい接合部仕口を用いた柱RC梁S構造接合部の接合部部材実験[3]から得られた実験結果を基に、接合部の復元力特性を提案し、接合部の強度をパラメータとした10層フィッシュボーンモデルによる地震応答解析を行い、柱RC梁S構造において接合部の影響が架構の耐震性能に与える影響を検討することを目的としたものである。

2. 解析モデル

2.1 10層モデル

接合部の性状が全体挙動に与える影響を検討するために、接合部を考慮した10層1スパンのフィッシュボーンモデルによる地震応答解析を行った。モデル形状を図1に、柱、梁のモデル断面一覧を表1に示す。対象構造は、10階建ての内部柱を想定し、階高4.0m、スパン8.0mとしたものである。解析モデルパラメータは、接合部性能が全体挙動に与える影響を比較検討することを考え、以下の5種類のモデルを決めた。

モデル1（接合部剛）は、柱、梁を剛接合としたもの。モデル2（梁貫通型）は、柱RC梁S構造の中の単純な梁貫通型を想定したもの。モデル3（柱貫通型）は、筆者等が行った斜めスチフナにより接合部を拘束した柱貫通型接合部を想定したもの。モデル4（RC構造）は、RC構造としたもの。モデル5（S構造）は、S構造としたものである。

柱RC梁S構造の柱、梁部材断面は、10階建てとして標準的と考えられる断面寸法を仮定した配筋とし、RC構造、S構造は、柱RC梁S構造の断面と同等な曲げ強度を有する柱、梁断面を仮定した。

*1 西松建設（株）技術研究所原子力課 （正会員）

*2 西松建設（株）技術研究所原子力課課長

*3 千葉大学教授 工学部建築学科、工博 （正会員）

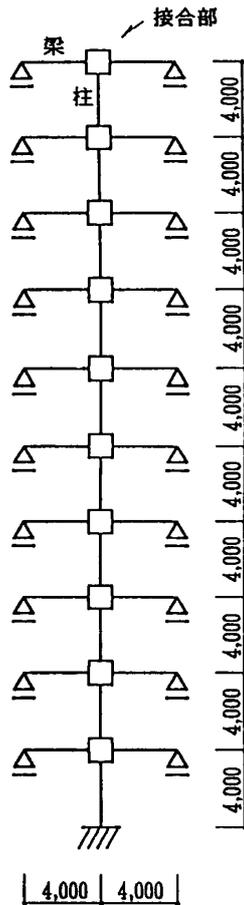


図1 モデル形状

表1 柱、梁断面一覧

単位 (mm)

		柱RC・梁S構造		RC構造		S構造	
R	梁	H-800×200×16×28		500×850	5-D29	H-800×200×16×28	
	柱	800×800	24-D32	900×900	28-D32	□-700×700×32	
10	梁	H-800×250×16×32		500×850	5-D29	H-800×250×16×32	
	柱	800×800	24-D35	900×900	28-D32	□-700×700×32	
9	梁	H-800×250×16×32		600×900	6-D32	H-800×250×16×32	
	柱	800×800	24-D35	950×950	32-D32	□-700×700×32	
8	梁	H-800×250×16×32		600×900	6-D32	H-800×250×16×32	
	柱	800×800	24-D35	950×950	32-D32	□-700×700×32	
7	梁	H-800×300×16×36		600×900	6-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D35	950×950	32-D32	□-700×700×32	
6	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D35	950×950	36-D32	□-700×700×32	
5	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D35	950×950	36-D32	□-700×700×32	
4	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D38	950×950	36-D32	□-700×700×32	
3	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D38	950×950	36-D32	□-700×700×32	
2	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D38	950×950	36-D32	□-700×700×32	
1	梁	H-800×300×16×36		650×950	9-D32	H-800×300×16×32	
	柱	900×900	24-D38	950×950	36-D32	□-700×700×32	

表2 材料諸元

		柱RC・梁S構造	RC構造	S構造
コンクリート 圧縮強度	10~8	360 kgf/cm ²	330 kgf/cm ²	X
	7~1	420 kgf/cm ²	360 kgf/cm ²	
主筋	10~1	$\sigma_y = 3500 \text{ kgf/cm}^2$		
補強筋	10~1	$\sigma_y = 13000 \text{ kgf/cm}^2$		
	10~7	$p_w = 0.39 \%$	$p_w = 0.39 \%$	
	6~1	$p_w = 0.52 \%$	$p_w = 0.52 \%$	
鉄骨	10~1	$\sigma_y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$		

2. 2 柱、梁モデル

柱、梁、接合部部材の復元力特性をモデル化するにあたり、柱、梁部材には、両部材が純RC造、純S造であることから、既往のモデルを用いることとし、柱部材では、D-Tri型（武田モデル）、梁部材では、Bi-Linear型とした。柱、梁部材の曲げ、せん断ひび割れ、および柱、梁部材の曲げ、せん断強度は、既往の計算式により算出した。

2. 3 接合部モデル

解析に用いた材料強度一覧を表2に、接合部断面性能を表3に示す。

柱RC梁S構造接合部は特殊な構造であり、一般的な履歴モデルを使用することはできないと考えられる。そこで、モデル2（梁貫通型）では、SRC規準[4]の接合部ひび割れ強度、せん断終局強度を折れ点とした接合部せん断力-せん断変形モデルを、モデル3（柱貫通型）では、実験結果[3]を基に、接合部のモデル化を行った。また、繰り返しによる接合部履歴曲線は、部材実験結果を参考に図2に示すように、除荷時のスリップ量が大きなループ形状とした。

さらに、構造特性の違いによる影響を比較するため、モデル4（RC構造）、モデル5（S構造）の解析も行った。モデル4、5では、柱RC梁S構造モデルと柱軸応力度が等しくなるように柱断面を決め、梁については、その曲げ降伏強度が、鉄骨梁のそれと等しいものとした。接合部強度は、RC構造については、接合部ひび割れ強度、せん断終局強度を $0.1\sigma_B$ 、 $0.3\sigma_B$ とした

表3 接合部せん断力一覧

	接合部剛	柱貫通型	梁貫通型	R C 構造	S 構造
R	剛	$Q_o = 252.6$ tf $Q_y = 777.5$ tf	$Q_o = 207.1$ tf $Q_y = 575.0$ tf	$Q_o = 207.9$ tf $Q_y = 623.7$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
10	剛	$Q_o = 296.9$ tf $Q_y = 844.0$ tf	$Q_o = 206.1$ tf $Q_y = 575.0$ tf	$Q_o = 207.9$ tf $Q_y = 623.7$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
9	剛	$Q_o = 296.9$ tf $Q_y = 844.0$ tf	$Q_o = 206.1$ tf $Q_y = 575.0$ tf	$Q_o = 243.0$ tf $Q_y = 728.9$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
8	剛	$Q_o = 319.8$ tf $Q_y = 947.3$ tf	$Q_o = 220.4$ tf $Q_y = 592.6$ tf	$Q_o = 243.0$ tf $Q_y = 728.9$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
7	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 243.0$ tf $Q_y = 728.9$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
6	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 273.6$ tf $Q_y = 820.8$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
5	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 273.6$ tf $Q_y = 820.8$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
4	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 273.6$ tf $Q_y = 820.8$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
3	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 273.6$ tf $Q_y = 820.8$ tf	$Q_y = 775.5$ tf
2	剛	$Q_o = 371.6$ tf $Q_y = 1024.9$ tf	$Q_o = 240.4$ tf $Q_y = 798.1$ tf	$Q_o = 273.6$ tf $Q_y = 820.8$ tf	$Q_y = 775.5$ tf

D-Tri型モデルとし、S構造については、せん断降伏強度を $\sigma_y/\sqrt{3}$ としたBi-Linear型モデルとした接合部復元力特性を仮定した。

モデル3の接合部せん断力—せん断変形関係は、筆者等が行った部材実験結果を基に鉄骨部分とコンクリート部分のせん断応力—せん断ひずみ関係の重ね合わせとしてモデル化した柱貫通型の接合部モデルである[3]。接合部モデルの接合部せん断力—せん断変形関係の包絡線は、図3に示すように実験結果と適合性のよいものとなっている。本接合部モデルは、接合部せん断力を鉄骨部分とコンクリート部分の累加で評価しており、せん断変形の卓越する類似構造への適用性があるものとする。

解析は、汎用プログラムの「2次元フレームの弾塑性解析プログラムRESP-F」を基に、接合部のせん断応力—せん断変形の弾塑性性状を考慮することが出来るよう解析プログラムを開発し、実験結果を基にした接合部モデルを組み込んだものを用いた。

2.4 解析パラメータ

入力地震波は、EL CENTRO NS 1940, TAFT NS 1952, HACHIOHE EW 1968の3波とした。減衰は、瞬間剛性比例型とし、RC構造(モデル4)では3%とし、他のモデルでは2%とした。入力の大さは、3波の地震動波形を速度レベル25、50kineで規準化したものを使用した。

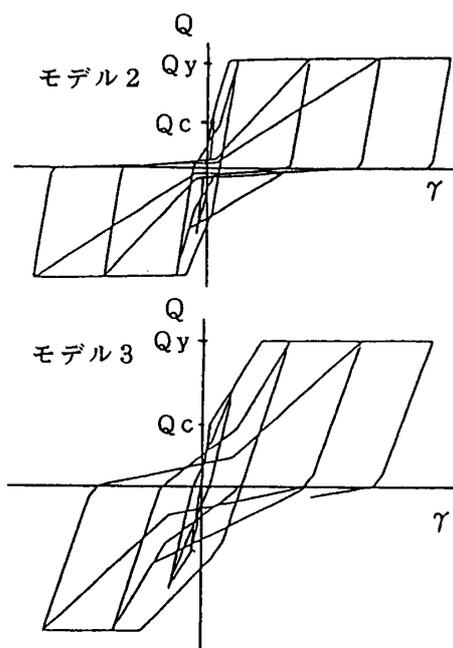


図2 接合部履歴モデル

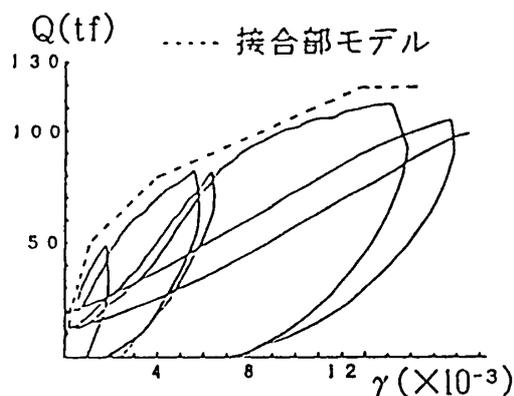


図3 実験結果との比較

3. 解析結果

3.1 固有周期

解析結果における1次の固有周期を表4に示す。

一般に、建物の固有周期 (T:sec) は、建物高さと構造形式に応じた略算式としている。

$$T = 0.02h + 0.01hs$$

(h=建物高さ(m), RC構造:hs=0, S構造:hs=1.0h)

柱RC梁S構造の固有周期に対しては、hsの値をRC構造とS構造の中間の値、または梁崩壊型と考えてS構造の値を採用するといった考え方がある。解析結果の固有周期は、略算式の約1.2倍程度となっており、本解析部材の剛性を十分評価しているとはいえない。

解析結果における柱RC梁S構造の固有周期は、RC構造とS構造の間のS構造寄りのところにあった。柱RC梁S構造の接合部考慮の有無による違いは、約5%程度であった。

3.2 降伏ヒンジ

EL CENTRO波におけるひび割れ降伏発生状況を図4に示す。

25kineにおいては、柱RC梁S構造では、柱に部分的にひび割れが発生し、RC構造では、柱の一部および全ての梁にひび割れが発生した。しかし、全モデル共、接合部のひび割れは、発生していなかった。

50kineにおいては、各モデル共、梁の降伏が部分的に起こり、降伏数は、RC構造が一番多くなっていた。RC構造、柱RC梁S構造では、接合部の一部にひび割れが発生していた。S構造の接合部降伏は、みられなかった。

柱RC梁S構造の接合部考慮の有無による違いは、接合部を剛としたモデル1では、接合部を考慮したモデル2、3に比べ、梁部材の降伏が多くみられる傾向にあった。

表4 固有周期

接合部モデル	固有周期 (sec)	
	解析値	略算値
接合部剛	解析値	1.34
	略算値	1.20
柱貫通型	解析値	1.41
	略算値	1.20
梁貫通型	解析値	1.37
	略算値	1.20
RC構造	解析値	0.99
	略算値	0.80
S構造	解析値	1.44
	略算値	1.20

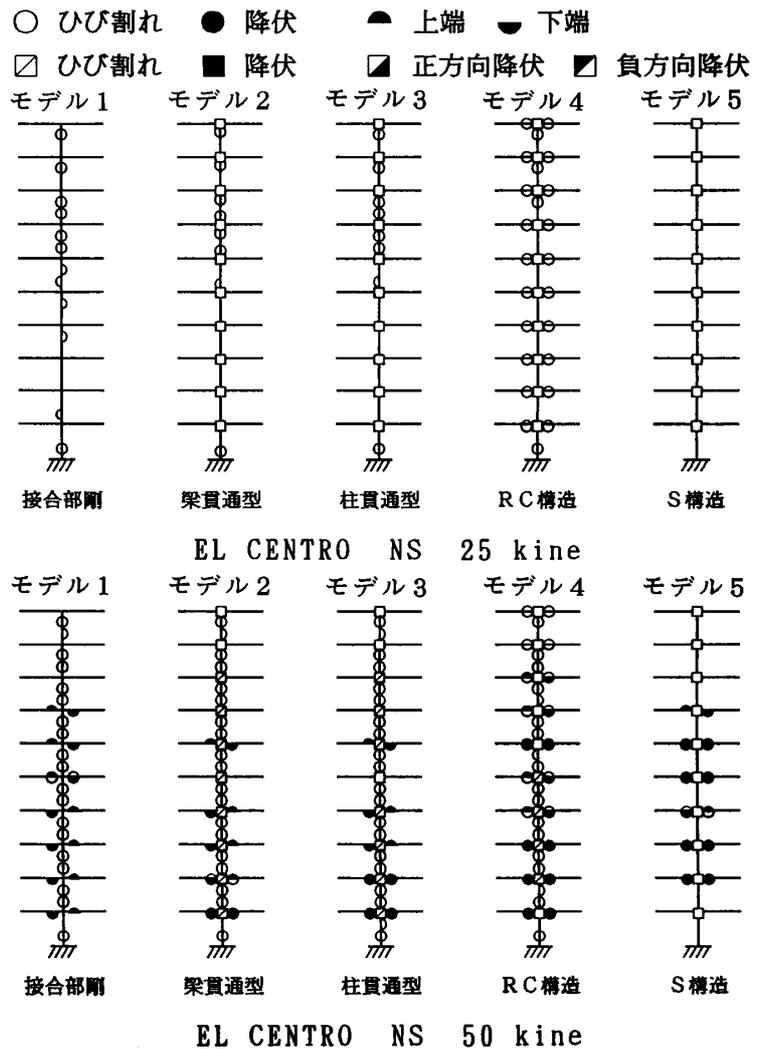


図4 ひび割れ、降伏状況

● 接合部剛 □ RC造 — EL CENTRO NS HACHINOHE EW
 ○ 梁貫通型 ◎ S造 TAFT NS
 △ 柱貫通型

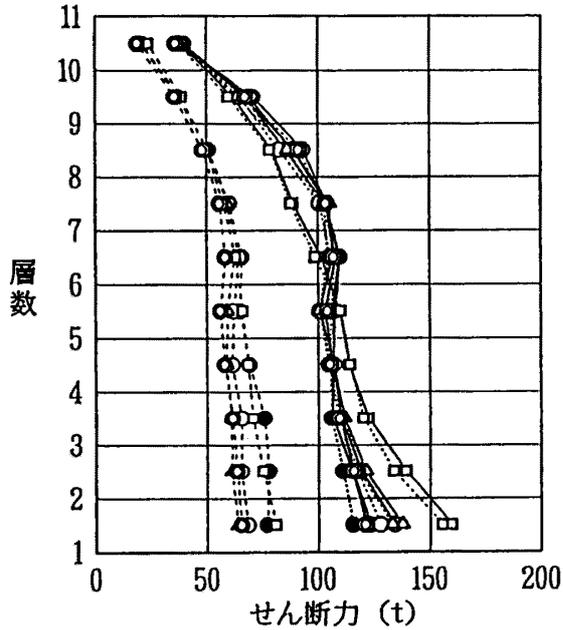


図5 最大層せん断力分布(50kine時)

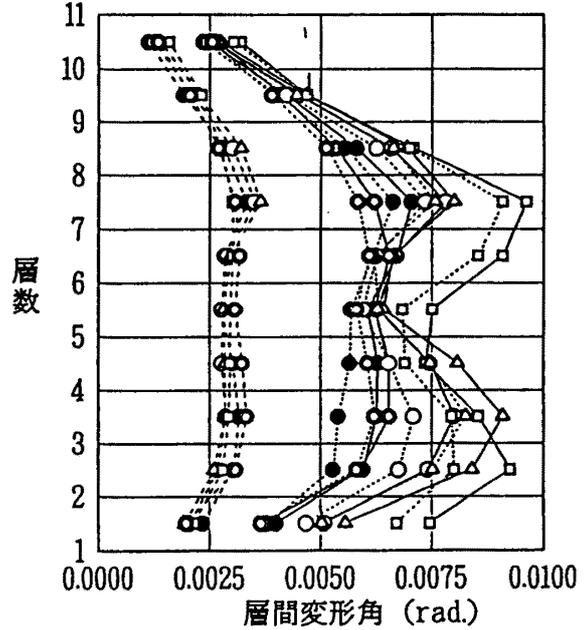


図6 最大層間変形角分布(50kine時)

3. 3 層せん断力、層間変形

50kine時解析結果の最大層せん断力分布を図5に、最大層間変形角分布を図6に示す。

解析結果における最大層せん断力分布は、モデルの違いによる影響として、下層ではRC構造の層せん断力が大きく、他のモデルでは、違いがあまり見られず、S構造及び接合部剛がやや小さい値となった。柱RC梁S構造の接合部考慮の有無による違いは、接合部を考慮すると、接合部剛性を考慮することとなり、架構の全体剛性の違いによる影響で、層せん断力が大きくなる傾向が見られた。

最大層間変形角分布は、部材降伏が起きている50kine時では、RC構造の層間変形角が大きくなる傾向がみられた。柱RC梁S構造における接合部考慮の有無による違いは、層せん断力同様、接合部を考慮すると、層間変形角が大き目になり、接合部剛性の考慮の有無による違いが見られた。

4. 全体挙動の検討

4. 1 接合部強度の影響

モデル2～5の50kine時解析結果における接合部せん断力分布を図7に示す。

解析結果の接合部せん断力は、柱貫通型のモデル3以外、ほぼ同様な傾向にあった。提案モデルを用いたモデル3では、ひび割れ時、最大時の接

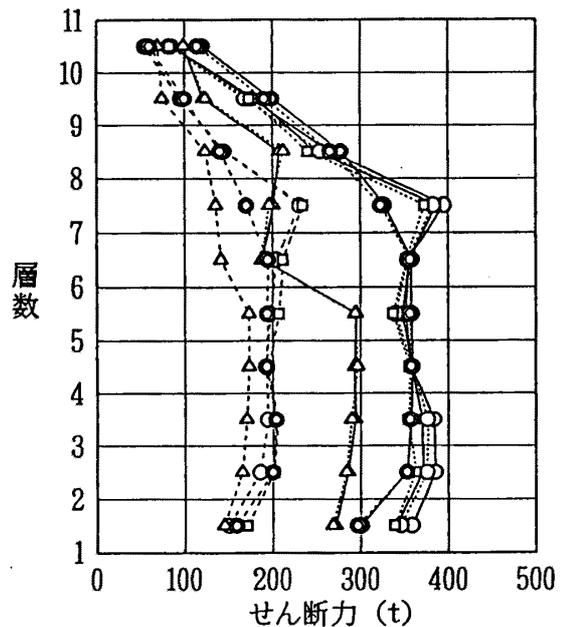


図7 接合部せん断力分布(50kine時)

合部せん断力を他のモデルより大きく仮定しており、この影響が、解析結果の接合部せん断力を小さくしていると考えられる。

4. 2 架構に対する接合部の影響

モデル1～5のEL CENTRO 50kine時解析結果における最下層の層せん断力-層間変形関係を図8に示す。

解析結果は、ひび割れ、降伏部位の多いRC構造の履歴が一番大きく、降伏の見られないS構造は線形の挙動をしている。柱RC梁S構造では、接合部考慮の有無による影響は、履歴ループ形状の大きさの違いとして認められたが、梁貫通型と柱貫通型のモデルの違いによる影響は見られなかった。

解析結果の接合部せん断力は、接合部強度の小さい梁貫通型でも接合部せん断耐力の30%程度であったことが、履歴形状に大きな違いを示さなかった理由であると考えられる。

5. まとめ

解析の結果、以下のことがわかった。

- (1) 柱RC梁S構造の固有周期は、RC構造とS構造の間であり、本解析モデルでは、ややS構造寄りの値となっていた。
- (2) 柱RC梁S構造では、接合部復元力特性の考慮の有無による違いとして、接合部を剛とすると、梁部材の降伏ヶ所の数が多くなり、層せん断力、層間変形が少なくなる傾向が見られた。
- (3) 柱RC梁S構造では、接合部復元力特性の有無による違いは見られたが、接合部せん断力が接合部せん断耐力の30%程度と小さいために、モデルの違いによる影響は見られなかった。

【謝辞】本研究を行うにあたりハイブリッド構造研究委員会のテーマストラクチャー断面を参考にさせていただきました。また、構造計画研究所 川川幸盛氏には、解析データの作成、解析計算を行って頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会: 混合構造研究委員会報告集, 1991. 12
- 2) 飯塚信一・笠松照親・野口博: 柱RC・梁S構造接合部の解析的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16 No. 2, PP. 1235-1240, 1994. 6
- 3) 飯塚信一・笠松照親・野口博: 柱RC・梁Sで構成された混合構造接合部の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15 No. 2, PP. 1019-1024, 1993. 6
- 4) 日本建築学会: 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1987. 6
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 1990. 11

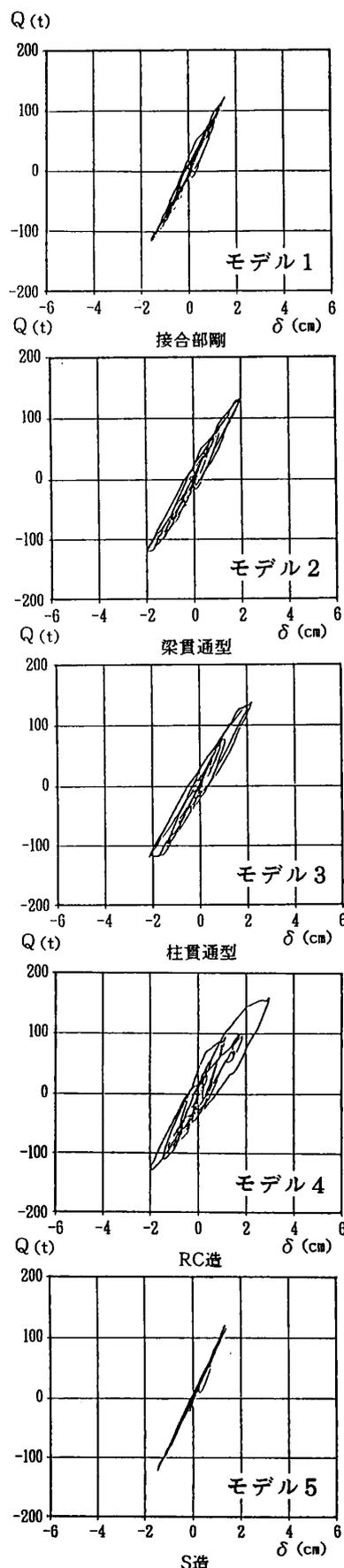


図8 層せん断力-層間変形関係