

報告 梁端部で重ね継手した建物の弾塑性応答性状に関する研究

東健二*1・林静雄*2・香取慶一*3

要旨:プレキャスト構造物において施工性を向上させるため梁端部に継手を設けた場合、継手の力学的特性が建物の耐震性に及ぼす影響は無視できない。本研究は、ヒンジ領域で重ね継手した梁の変形性状を明らかにし、建物の耐震性能に及ぼす影響について調べたものである。重ね長さ、横補強筋量等を比較因子とした実験を行った。実験結果をもとに部材の復元力特性をモデル化し、建物の二次元弾塑性応答解析を行った。重ね長さを長くしても履歴特性は逆S型となり、これらの履歴特性を示す部材を用いた建物の部材の最大塑性率2.12以下では、最大応答変位等はほとんど変わらないことが分かった。

キーワード:重ね継手、限界変形量、履歴特性、弾塑性応答解析、最大応答変位

1. はじめに

プレキャスト工法においては、接合部を部材端部のヒンジ領域に設けた方が、施工上有利である。梁端部に継手を設けた場合、継手の設計法が問題となる。施工上有利な工法、すなわち、部材端部で継手を設けた場合には、継手の力学的性状が建物全体のエネルギー吸収性能に与える影響は無視できない。現在、プレキャスト造建物の場合、構造特性係数を割り増して設計しているが、継手性状が建物の耐震性能に及ぼす影響については不明な点も多い。

ヒンジ領域で重ね継手した梁の荷重-変形関係は、重ね長さが長い場合でも、スリップ型となることが報告されている¹⁾。梁端部で重ね継ぎ手した梁と一体打ちした梁の力学的性状を比較し、両部材の力学的性状をモデル化した二次元弾塑性解析を行った。これにより、重ね継ぎ手をヒンジ領域に設けることによる部材レベルの履歴特性の劣化が建物の耐震性能に及ぼす影響を調べた。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧を表1に、試験体配筋詳細を図1にそれぞれ示す。試験体は、2組の重ね継手主筋と横補強筋からなる片持ち梁型で、試験体断面は230mm×420mm、シヤスパン比は2.75である。実験因子は、重ね長さ、横補強筋量およびコンクリートの打継ぎの有無である。重ね長さおよび横補強筋量を変えることによって、安全率(重ね継手強度²⁾/入力せん断力)を0.96~1.91と変えている。重ね長さは、20d、30d、40dの3種

表1 試験体一覧

試験体 No.	重ね長さ	横補強筋比 (%)	打継ぎ	安全率*1
1	—	0.42	—	—
2	20d	0.42	—	0.96
3		0.59		1.21
4		0.42	有	—
5	—		1.43	
6	30d		有	—
7	40d		—	1.91

*1 文献2)による

*1 東京工業大学 大学院((株)新井組)、工修(正会員)

*2 東京工業大学 建築物物理研究センター 教授、工博(正会員)

*3 東京工業大学 建築物物理研究センター 助手、工修(正会員)

類、横補強筋比は0.42%および0.59%の2種類である。端部接合による外郭プレキャストを想定して梁継手主筋間に打継ぎを設けた。外郭プレキャストを想定した試験体は、外郭プレキャスト部に内蔵した梁主筋を、現場打ちによる柱側主筋と重ね継手するために主筋の配置を縦並びとしたコンクリートは、図1に示す方向から打設した。材料の力学的性質は表2に示した。

2.2 载荷履歴

重ね継手主筋に引張力がかかる方向への载荷を正とした正負繰り返し载荷を行った。部材角R = 1/1000で一回、R = 5, 10, 15, 20, 30 × 1/1000でおのおの3回ずつ繰り返し、50/1000で一回繰り返した後、実験を終了した。

表2 材料の力学的性質

コンクリート

位置	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	弾性係数 (× 10 ³ N/mm ²)
A	25.6	2.29	20.9
B	30.2	2.55	21.5
C	32.3	2.84	25.6

鉄筋

種類	降伏強度 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	弾性係数 (× 10 ⁴ N/mm ²)
D6	423	577	18.9
D10	347	515	18.3
D19	347	546	18.9

3. 実験結果

3.1 セン断力ー部材角関係

せん断力ー部材角関係を図2に示す。各試験体の継手主筋は、部材角R = -8 ~ -10/1000で引張降伏した。継手を有する試験体のせん断力ー部材角関係は、付着割裂ひび割れが発生するR = -10/1000までは継手のない試験体のものとほとんど差がない。一体打ちの試験体は、重ね長さ30dの試験体においても、R = -20/1000の繰り返し時に付着割裂幅が広がり、R = -30/1000で急激に耐力が低下した。重ね長さ40dの試験体は、履歴が、逆S型となるものの最終载荷時まで耐力低下は見られなかった。

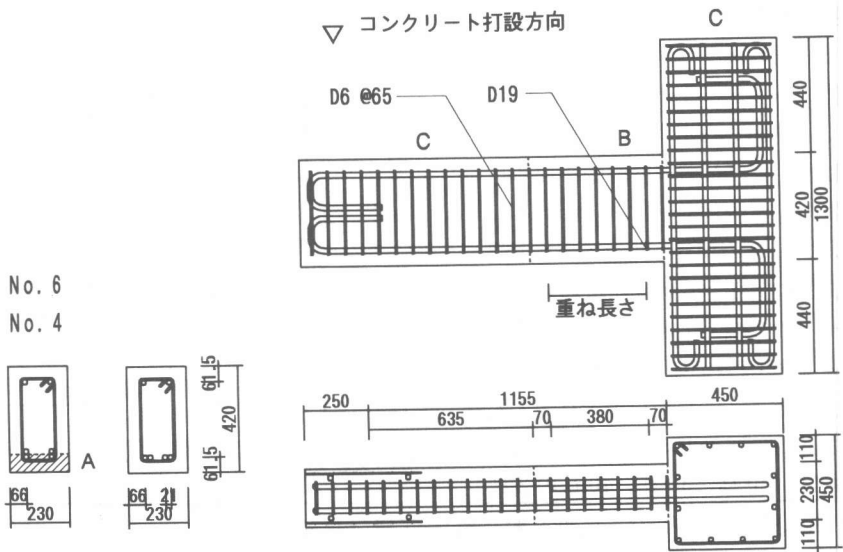


図1 試験体配筋詳細

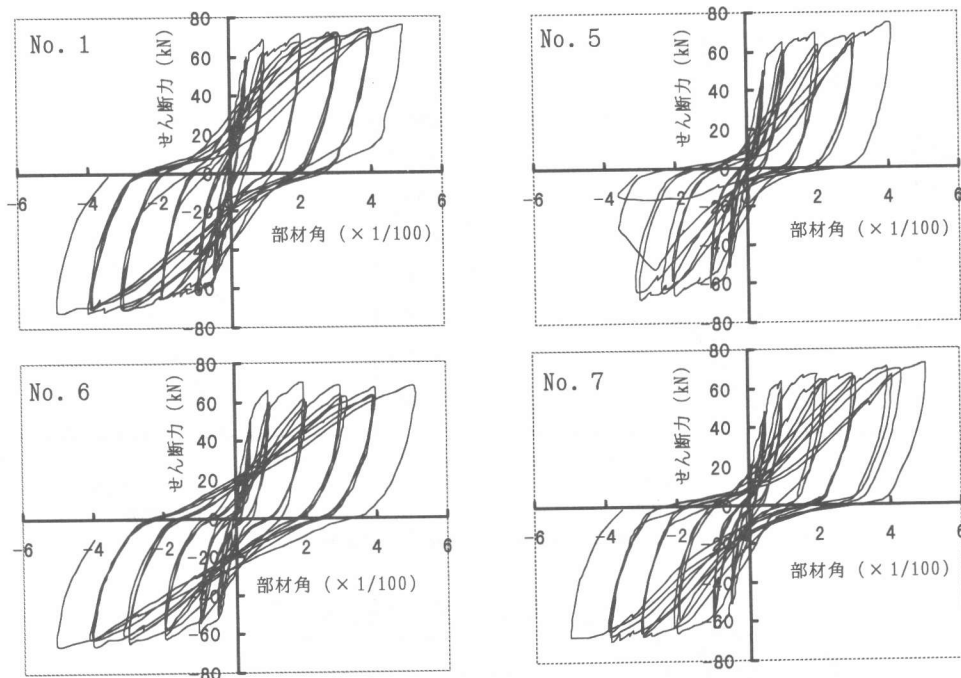


図2 荷重一部材角の関係

- 継手なし
- × 重ね長さ 20 d, $p_w = 0.59\%$
- ◇ 重ね長さ 20 d, $p_w = 0.42\%$
- △ 重ね長さ 30 d, $p_w = 0.42\%$
- 重ね長さ 40 d, $p_w = 0.42\%$

実線 一体打
破線 打継ぎ

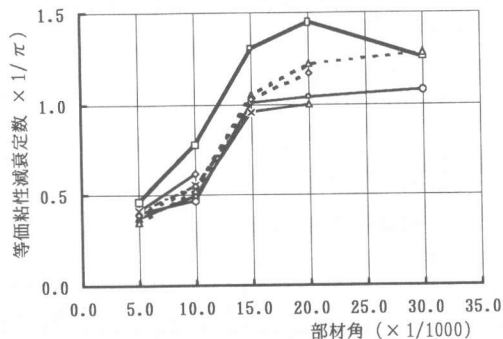


図3 等価粘性減衰定数

3. 3 履歴面積

図4に $R = 20/1000$ までの履歴面積の合計の値と、破壊に至るまでの履歴面積の合計を示す。 $R = 20/1000$ の場合、打ち次ぎを有する試験体の履歴面積は重ね長さ 20 d で一定となる。一体打ちの試験体の履歴面積は重ね長さ 30 d で履歴面積はほぼ一定となっている。

破壊に至るまでの履歴面積は、重ね長さが長くなるほど大きくなる。重ね長さ 40 d の試験体の履歴面積は、20 d の試験体のものの 19 倍程度となっている。重ね長さ 30 d で打継ぎを設けた試験体の履歴面積は、同一重ね長さの一体打の試験体のものの 2 倍程度大きくなっている。継手長さの最も長い 40 d の試

打ち継ぎを有する場合、重ね長さ 30 d の試験体は、最終載荷時まで耐力低下は見られず、履歴は、比較的紡錘型となった。

3. 2 等価粘性減衰常数

各部材角での第2サイクルにおける各試験体の等価粘性減衰定数を図3に示す。重ね継手を有する試験体の値は、継手のない試験体のものより小さくなっている。打継ぎの有無によらず、重ね長さが長くなるほど、等価粘性減衰定数の値は大きくなる。 $R = 20/1000$ の時、重ね長さ 30 d 以上の試験体の値は継手のない試験体の 2/3 程度となっている。

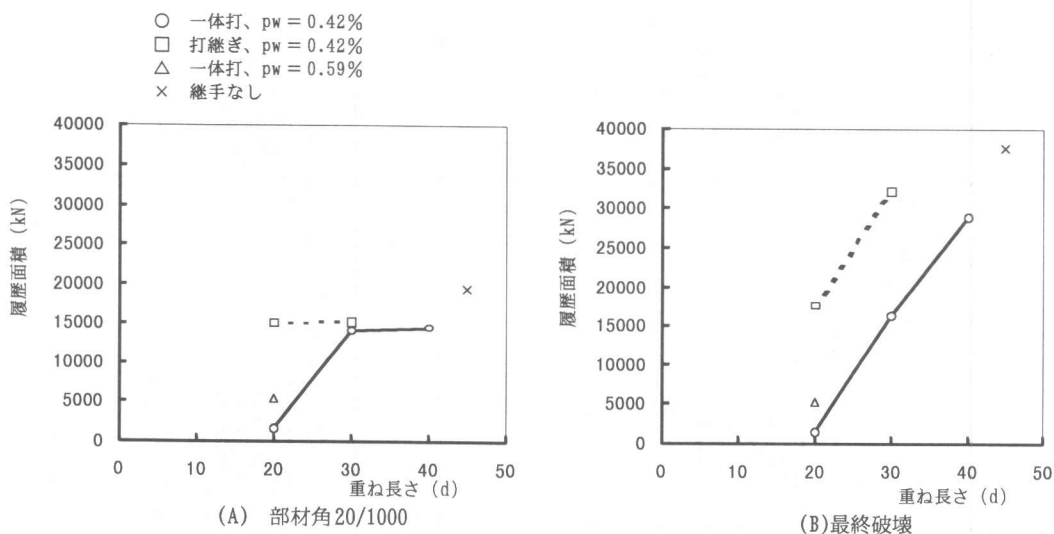
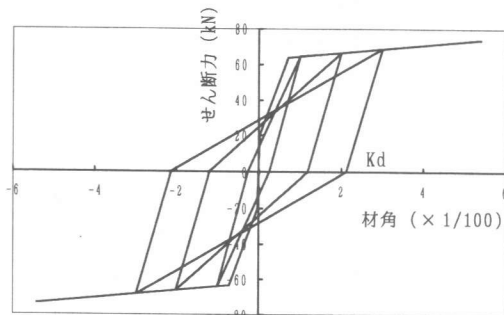


図4 履歴面積と重ね長さの関係



(A) 一体打モデル (No. 1)

$$K_d = \frac{Q_{y2} - Q_{y1}}{\delta_{y2} - \delta_{y1}} \cdot \left| \frac{\delta_{\max}}{\delta_{y2}} \right|^{-\gamma}$$

曲げ降伏後の剛性は弾性剛性の 4/1000

Q_{y1} : ひび割れせん断力

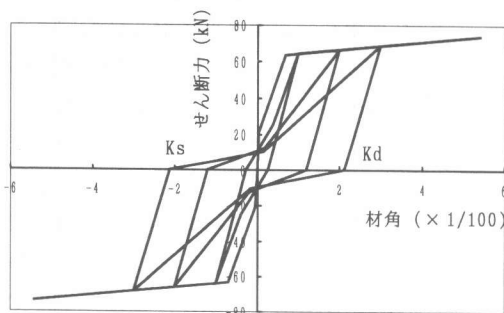
Q_{y2} : 降伏せん断力

δ_{y1} : ひび割れ時変位

δ_{y2} : 降伏時変位

$\gamma : 0.1$

	部材角		
	10/1000	20/1000	30/1000
履歴面積比 (解析/実験)	0.79	0.90	0.97



(B) 重ね継ぎ手 モデル(No. 5)

$$K_d = \frac{Q_{y2} - Q_{y1}}{\delta_{y2} - \delta_{y1}} \cdot \left| \frac{\delta_{\max}}{\delta_{y2}} \right|^{-\gamma}$$

$$K_s = \frac{Q_{\max}}{\delta_{\max} - \delta_0} \cdot \left| \frac{\delta_{\max}}{\delta_{y2}} \right|^{-\lambda}$$

曲げ降伏後の剛性は弾性剛性の 4/1000

$\gamma : 0.1$

$\lambda : 0.8$

	部材角		
	10/1000	20/1000	30/1000
履歴面積比 (解析/実験)	0.62	0.79	0.90

図5 部材の復元力特性のモデル化

験体においても、その履歴面積は、継手のないもの 3/4 程度となっている。

4. 解析

4. 1 解析概要

部材の実験結果より、部材の復元力特性をモデル化した建物の二次元弾塑性応答解析を行った。

梁断面
 $500 \times 900 \sim 500 \times 850$
 梁主筋
 10-D25 $\sim$ 5-D22 (SD345)

柱断面
 $700 \times 850 \sim 750 \times 800$
 柱主筋
 6-D29 $\sim$ 6-D22 (SD345)

階	W_i	α_i	A_i	C_i
7	608.4	0.160	1.878	1.878
6	952.1	0.299	1.574	1.574
5	1242.4	0.438	1.403	1.403
4	1492.1	0.578	1.277	1.277
3	1703.5	0.718	1.174	1.174
2	1880.1	0.859	1.083	1.083
1	2021.8	1.000	1.000	1.000

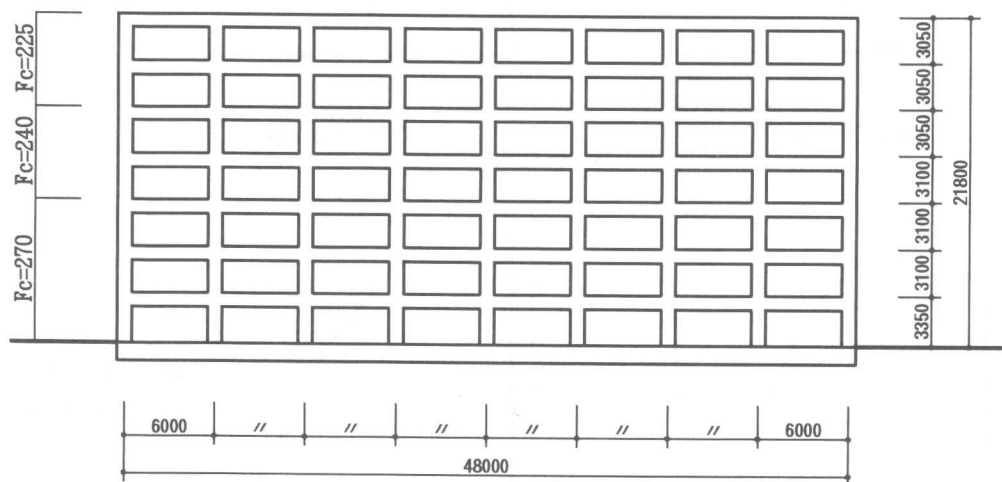


図 6 解析建物概要

一体打の部材の復元力特性のモデルは、試験体No.1の実験値により図5(A)に示すようにDegrading Tri-Linear型とした。梁端部で重ね継手した部材の復元力特性は、試験体No.5の実験値により図5(B)に示すようにすべりを考慮したDegrading Tri-Linear型とした。解析した建物の概要を図6に示す。建物規模は、7階建てで高さ21m、1スパン6mの8スパンである。解析に用いた地震波は、EL CENTRO 1940 NS、TAFT 1952 EWの2波である。履歴面積の影響を見るために最大速度振幅の目標値を50cm/secに設定した。

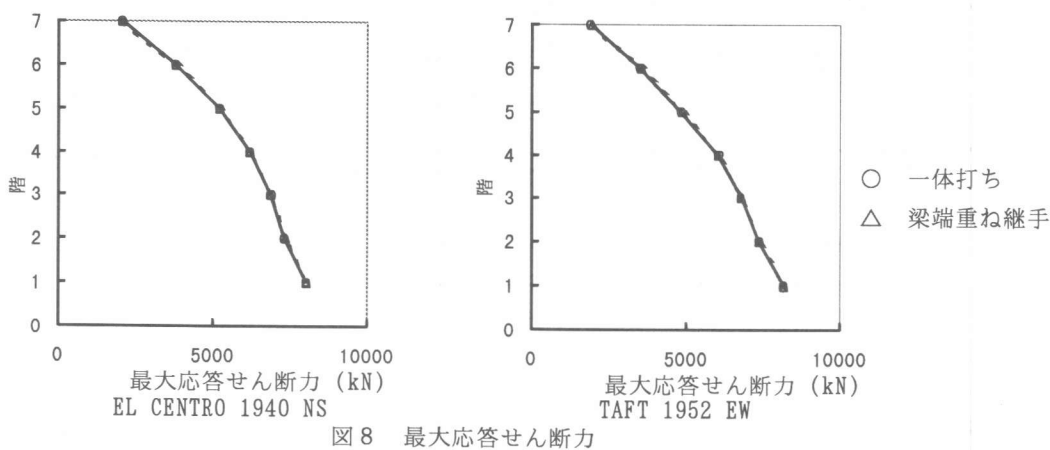
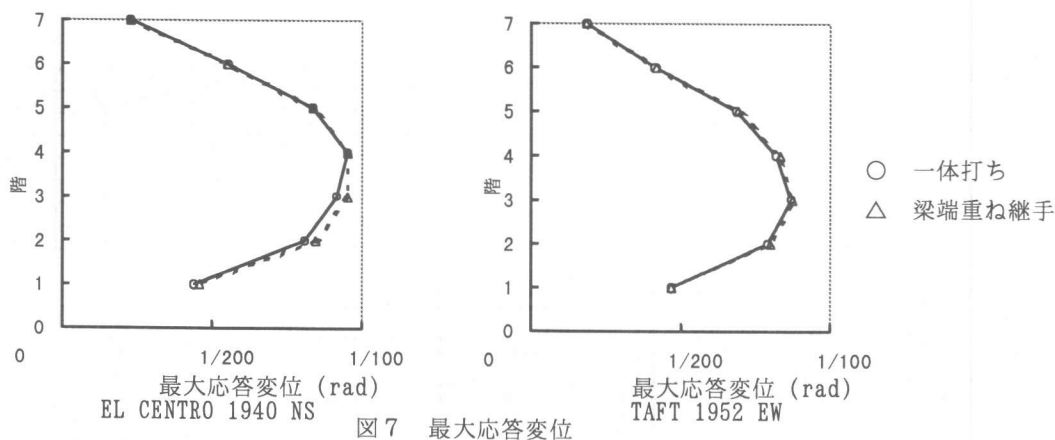
5. 2 解析結果

各地震波による最大応答変位を図7に示す。応答変位量が最大となるのは両モデルともEL CENTRO 1940 NSであった。応答変位の最大値は、両モデルに差がなく、一体打ちの場合、4階で最大となり、その値は1/105であり、重ね継ぎ手の場合、3、4階で最大となり、その値は1/105であった。重ね継ぎ手モデルの1～3階の最大応答値は、一体打ちのものより4%程度大きくなったが、4階以上の階には両モデルの最大応答変位には差がみられなかった。

TAFT 1952 EWによる両モデルの最大応答変位量の差はほとんどみられなかった。3階で最大となっており、その値は1/115程度であった。

各地震波による最大応答せん断力を図8に示す。EL CENTRO 1940およびNSTAFT 1952 EWによる両モデルの最大応答せん断力分布の差は小さくほとんど差は見られなかった。

塑性率の最大値は両モデルとも、EL CENTRO 1940 NSで2.16、TAFT 1952 EWで1.78であった。塑性率の大きいEL CENTRO 1940 NSによる解析結果の方が、両モデルの最大応答変位に差が出たがその差は小さい。



5. まとめ

本実験の結果から以下の結論を得た。

- 1) 継手を設けた試験体は、重ね長さが 40 d でも履歴が逆 S 形となり、等価粘性減衰定数は、継手のないものの 2/3 程度となった。
- 2) 重ね長さが長くなるほど、エネルギー吸収性能はよくなるが、重ね長さ 40 d であっても継手のない試験体のものの 3/4 程度であった。
- 3) 地震波によって最大塑性率に 20% 程度の差がでたが、塑性率 2.12 以内では梁端部に重ね継手を設けた建物モデルと一体打ちのモデルには、最大応答変位および最大応答せん断力にはほとんど差がみられなかった。

参考文献

- 1) 東健二、香取慶一、林静雄：梁端接合部で重ね継手した鉄筋コンクリート梁の曲げせん断性状、コンクリート工学年次論文報告集 第 16 巻第 2 号、pp.295～300、1994
- 2) 東健二、大村哲也、香取慶一、林静雄：曲げモーメント勾配を考慮した梁端重ね継手の強度の関する実験研究、日本建築学会構造系論文報告集、第 484 号、pp.93～100、1996.4
- 3) 東健二、香取慶一、林静雄：引張試験による重ね継手の強度と変形性能、日本建築学会構造系論文報告集、第 469 号、pp.69～80、1995.3