

# 論文 鉄筋コンクリート梁のヒンジゾーンにおける主筋の重ね継ぎ手の強度に関する実験研究

大村哲矢\*1・東健二\*2・香取慶一\*3・林静雄\*4

要旨：鉄筋コンクリートプレキャスト構造において施工性を向上させるため材端など応力の大きいところでも重ね継ぎ手を設けることが求められ終局強度型設計法への対応も要望されている。本研究は、主筋をヒンジゾーンで重ね継ぎ手をした梁の曲げせん断実験を行い、主筋間の引張応力伝達機構を明らかにすることを目的とし、付着割裂破壊が先行するように試験体を計画し、せん断スパン比や横補強筋比が及ぼす継ぎ手強度と変形状、破壊機構への影響に関して比較検討を行った。せん断スパン比により歪勾配が異なれば、主筋の応力伝達機構も異なり、付着割裂破壊に至るまでの過程に影響することなど、終局強度型設計法に対応させるための基礎的データを得た。

キーワード：せん断スパン比、横補強筋比、継ぎ手長さ、付着応力度、有効継ぎ手長さ

## 1. はじめに

重ね継ぎ手に関して実験による強度の回帰式は報告されているが、重ね継ぎ手の応力伝達機構まで詰めた論文は少ないため、本研究では、その基礎的データを得ようとするものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体一覧を表1に、試験体配筋図を図1に、材料の力学的性質を表2示す。試験体は下端筋のみを同一箇所でも重ね継ぎ手した片持ち梁型試験体である。各試験体の共通要因は、断面  $b \times D = 230 \times 420 \text{mm}$ 、コンクリート強度  $284 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、主筋は引張鉄筋2-D19とし高強度鉄筋を用い、横補強筋にはD6を用いた。変動要因は、せん断スパン比を  $(a/D) = 1.5, 2.75, 4.5$  の3種類、横補強筋比を  $(pw) = 0.43, 0.86\%$  の2種類、継ぎ手長さを  $(ls) = 30d, 40d$  の2種類とした。コンクリートは、重ね継ぎ手を設けている側が下端筋となるように打設した。

### 2.2 加力方法

荷重は一方単調荷重とし、加力点には十分剛性のある鉄のプレートでP C鋼棒で締め50tfオイルジャッキを用い引っ張るように荷重した。

表-1 試験体一覧

No.	試験体名	a/D	pw	ls
1	1.5 -0.86-30d	1.5	0.86	30d
2	2.75-0.43-30d	2.75	0.43	
3	2.75-0.86-30d		0.86	0.86
4	2.75-0.86-40d	4.5		
5	4.5 -0.86-30d		4.5	0.86
6	4.5 -0.86-40d			

■変動要因■

a/D:せん断スパン比、pw:横補強筋比  
ls:継ぎ手長さ

■共通要因■

$b \times D = 230 \times 420 \text{ (mm)}$  コンクリート強度:  $284 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$   
引張鉄筋(2-D19):  $pt = 0.59\%$ :SD345材焼き入れ  
横補強筋:D6

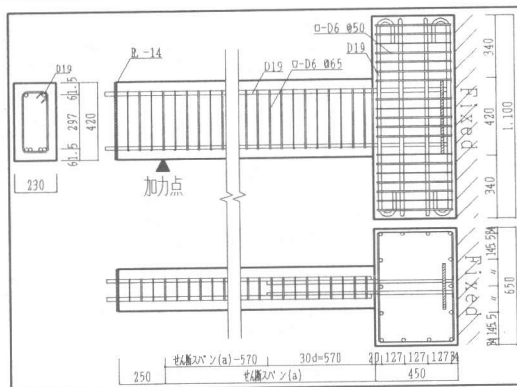


図-1 試験体配筋図

\*1 西松建設(株)建築設計部構造課、工修(正会員)、\*2 東京工業大学大学院総合理工学研究科、工修(正会員)、\*3 東京工業大学助手 工業材料研究所、工修(正会員)、\*4 東京工業大学教授 工業材料研究所、工博(正会員)

### 3. 実験結果および検討

#### 3. 1 危険断面におけるモーメント(M)－部材角(R) 関係

図2に危険断面におけるモーメント－部材角 関係を示す。すべての試験体において曲げ降伏することなく付着割裂破壊を生じ最大耐力を迎えた。

##### せん断スパン比の影響(図2-a)

横補強筋比( $p_w=0.86\%$ )と継ぎ手長さ( $l_s=30d$ )が共通で、せん断スパン比( $a/D$ )を変動させると、 $a/D=2.75$ と $4.5$ ではほぼ同じ最大モーメントを示したが $a/D=1.5$ では最大モーメントが上昇する傾向がみられた。

##### 横補強筋比の影響(図2-b)

せん断スパン比( $a/D=2.75$ )と継ぎ手長さ( $l_s=30d$ )が共通で、横補強筋比( $p_w$ )を変動させると、M-R曲線で、 $p_w=0.43\%$ を $p_w=0.86\%$ が上回る傾向がみられた。

##### 継ぎ手長さの影響(図2-c, d)

せん断スパン比( $a/D=2.75$ と $4.5$ )と横補強筋比( $p_w=0.86\%$ )が共通で、継ぎ手長さ( $l_s$ )を変動させると、M-R曲線で、 $l_s=30d$ を $l_s=40d$ が上回る傾向がみられた。

#### 3. 2 主筋歪度分布 及び 破壊性状

図3に主筋歪度分布図 及び 最終破壊状況図を示す。横補強筋比( $p_w=0.86\%$ )と継ぎ手長さ( $l_s=30d$ )が共通で、せん断スパン比( $a/D$ )を変動させた3つの試験体を比較検討する。

##### 主筋歪度分布(図3-a)

図3-a(上段)に主筋歪度分布図を示す。すべての試験体において降伏歪度に達したものはみられなかった。 $a/D=2.75$ と $4.5$ では柱側主筋の歪度分布の変化で歪勾配の傾きが継ぎ手区間の中央

表-2 材料の力学的性質

<b>材料の力学的性質</b>
<b>主筋(SD345材焼き入れ)</b> 鉄筋径:D19(溝切り) 鉄筋断面積:2.31(cm <sup>2</sup> ) 降伏点強度: $s\sigma_y=9714(\text{kgf/cm}^2)$ 降伏点歪度: $s\epsilon_y=4626(\mu)$ ヤング係数: $2.10 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)$
<b>横補強筋(D6)</b> 降伏点強度: $w\sigma_y=3103(\text{kgf/cm}^2)$ 降伏点歪度: $w\epsilon_y=1776(\mu)$ ヤング係数: $1.98 \times 10^6(\text{kgf/cm}^2)$
コンクリート圧縮強度 284(kgf/cm <sup>2</sup> ) コンクリート割裂強度 21.1(kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>主筋溝切加工図</b>

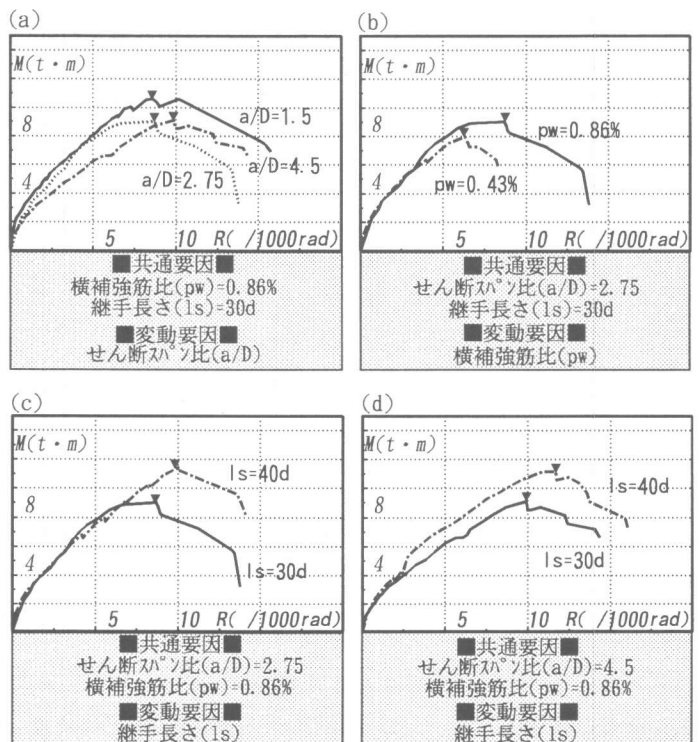


図-2 危険断面におけるモーメント-部材角 関係

部で ほぼ 0 になる傾向がみられたが  $a/D=1.5$  ではその傾向はみられなかった。

主筋歪度分布の実験データと曲げ解析結果との比較(図3-b)

図3-b(中段)に主筋歪度分布の曲げ解析結果との比較を示す。曲げ解析はコンクリートではe関数法(コンクリートの引張力は考慮していない)を、主筋ではバリエーション型を荷重と歪度の関係に用いた。また、曲げ解析は'引張鉄筋2-D19のもの'と'引張鉄筋4-D19のもの'と2種類行った(継ぎ手区間で4-D19に相当する部分があると考えたため)。図3-bの実験データは図3-aのデータから抜粋したものである。すべての試験体において継ぎ手区間の中央部付近では、"実験データ"が"引張主筋が4-D19の解析結果"上にほぼ位置する傾向がみられた。

1) 柱側主筋の歪度分布(図中の実線)

危険断面付近で"引張主筋2-D19の解析データ"付近に位置し、危険断面位置より離れるにしたがい"引張主筋4-D19の解析データ"付近に位置し、さらに危険断面から離れるにしたがい歪度は0に近づく傾向がみられた。

2) 梁側主筋の歪度分布(図中の一点波線)

危険断面付近では ほぼ0で、危険断面位置より離れるにしたがい"引張主筋4-D19の解析結果"付近に位置し、さらに危険断面から離れるにしたがい"引張主筋が2-D19の解析結果"に近づく傾向がみられた。

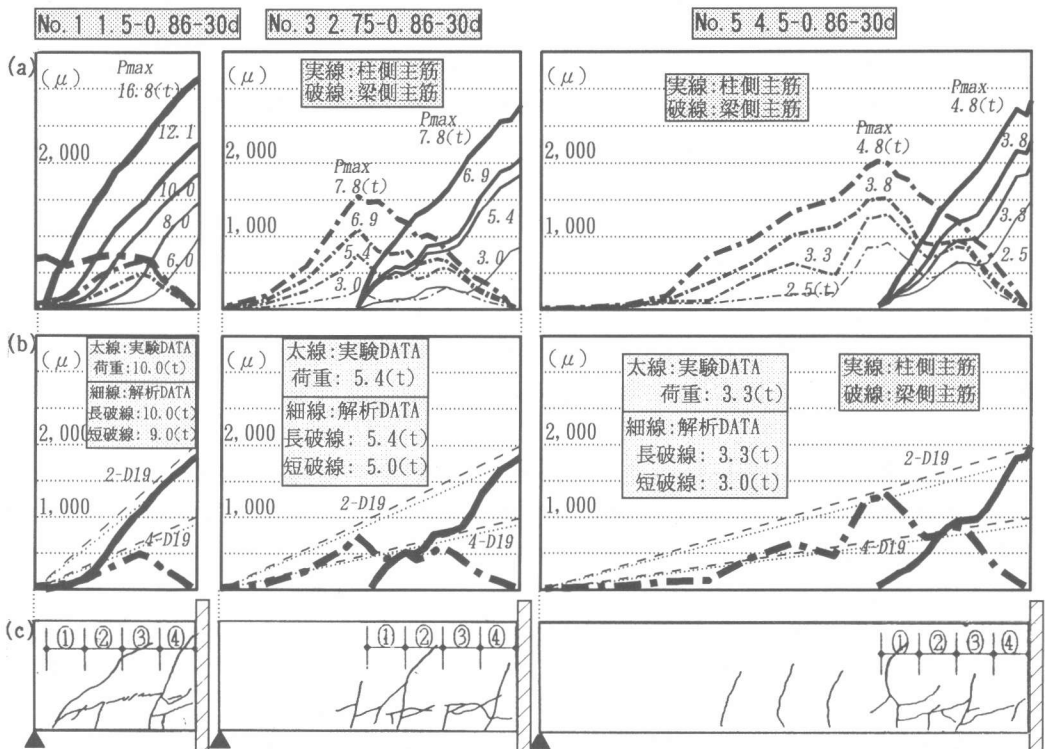


図-3 主筋歪度分布図 及び 最終破壊状況図(図中の番号は下図の位置にテータが対応)

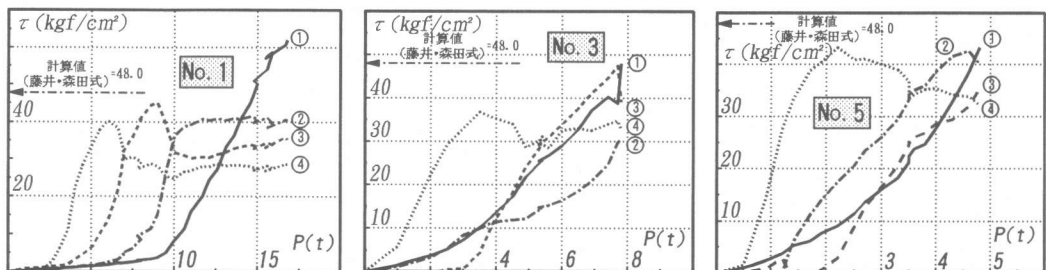


図-4 柱側主筋の付着応力度( $\tau$ )-荷重(P)関係(テータの番号は上図の位置に対応)

破壊性状(図3-c)

最終破壊状況図を図3の下段に示す。すべての試験体において危険断面側から順に曲げひび割れが発生・伸展し、柱側主筋の先端付近より付着割裂ひび割れが発生した直後に最大耐力を迎え、その後付着割裂ひび割れは伸展した。

3.3 柱側主筋の付着応力度( $\tau$ )—荷重(P) 関係

図4に柱側主筋の付着応力度—荷重 関係を示す。3.2と同じ3体のデータを用い比較検討する。また、図中の①～④は最終破壊状況図中の位置に対応する。

$a/D=2.75$  と  $4.5$  では最大耐力の約半分の荷重で継ぎ手区間の端部(④の位置に相当)の付着応力度は低下し、その他の区間(①～③の位置に相当)は付着応力度は上昇するという傾向がみられた。

$a/D=1.5$  では危険断面側から順に付着応力度が低下または一定となり柱側主筋の先端部(①の位置に相当)の付着応力度が上昇するという傾向がみられた。

3.4 危険断面における最大モーメント( $M_{max}$ )—横補強筋比( $p_w$ ) 関係

図5に危険断面における最大モーメント—横補強筋比 関係を示す。継ぎ手長さ( $l_s=30d$ )とせん断スパン比( $a/D=2.75$ )を共通とし、横補強筋比を変動させると、横補強筋比の増加にともない危険断面における最大モーメントは上昇する傾向がみられた。

3.5 危険断面における最大モーメント( $M_{max}$ )—継ぎ手長さ( $l_s$ ) 関係

図6に危険断面における最大モーメント—継ぎ手長さ 関係を示す。横補強筋比( $p_w=0.86\%$ )を共通とし、継ぎ手長さを変動させると、 $a/D=2.75$  と  $4.5$  では、継ぎ手長さの増加にともない危険断面における最大モーメントは上昇する傾向がみられた。

3.6 危険断面における最大モーメント( $M_{max}$ )—せん断スパン比( $a/D$ ) 関係

図7に危険断面における最大モーメント—せん断スパン比 関係を示す。横補強筋比( $p_w=0.86\%$ )を共通とし、 $a/D$ を変動させると、継ぎ手長さ( $l_s$ )= $40d$ ではせん断スパン比が変化しても危険断面における最大モーメントは変化しない傾向がみられた。 $l_s=30d$ では $a/D=2.75$  から  $4.5$  では危険断面における最大モーメントは変化しないが、 $a/D=1.5$  では危険断面における最大モーメントは上昇する傾向がみられた。

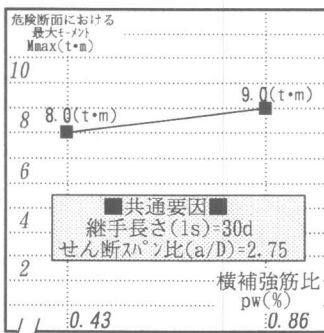


図-5  $M_{max}$ - $p_w$  関係

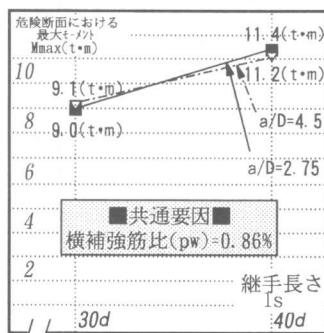


図-6  $M_{max}$ - $l_s$  関係

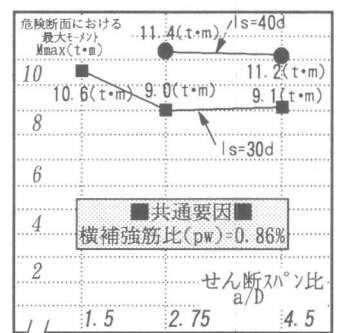


図-7  $M_{max}$ - $a/D$  関係

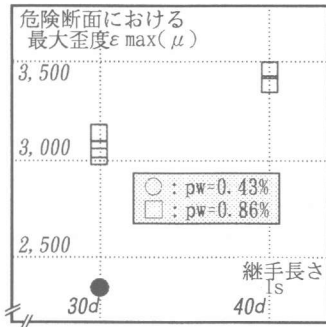


図-8 ε max-ls 関係

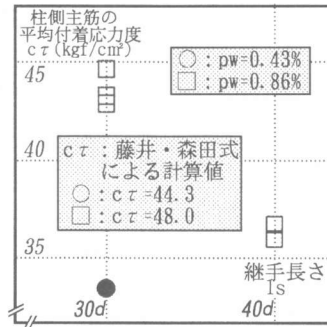


図-9 τ-ls 関係

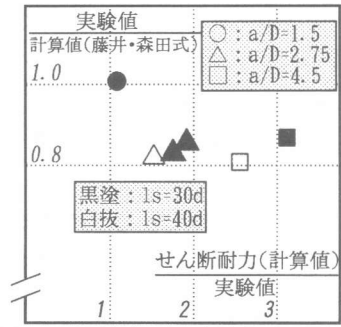


図-10 比較値-せん断余裕度 関係

### 3.7 危険断面における最大歪度(ε max)-継ぎ手長さ関係

図8に危険断面における最大歪度-継ぎ手長さ 関係を示す。継ぎ手長ささと横補強筋比を一定にすると、危険断面における最大歪度'はせん断スパン比によらず、ほぼ変化しないという傾向がみられる。継ぎ手長さを増加させると、危険断面における最大歪度'は上昇する傾向がみられ、横補強筋比を増加させると、危険断面における最大歪度'は上昇する傾向がみられた。

### 3.8 柱側主筋の平均付着応力度(τ)-継ぎ手長さ(ls)関係

図9に柱側主筋の平均付着応力度-継ぎ手長さ関係を示す。継ぎ手長ささと横補強筋比を一定にすると柱側主筋の平均付着応力度はせん断スパン比によらず、ほぼ変化しないという傾向がみられる。継ぎ手長さを増加させると柱側主筋の平均付着応力度は低下する傾向がみられ、横補強筋比を増加させると柱側主筋の平均付着応力度は上昇する傾向がみられた。

### 3.9 比較値(実験値/付着耐力の計算値)-せん断余裕度(せん断耐力の計算値/実験値)

図10に比較値-せん断余裕度(付着耐力に対する)を示す。比較値の計算に用いた付着耐力の算出は、藤井・森田式[1]により平均付着応力度を求め下記の式により危険断面位置における主筋の歪度を計算し、§3.2と同様の曲げ解析により付着割裂破壊が生じるモーメント(付着耐力)を荷重に換算し計算値とした。

$$\varepsilon \text{ (危険断面位置の歪度)} = \frac{\tau \text{ (付着応力度)} \times \phi \text{ (周長)} \times l_s \text{ (継ぎ手長さ)}}{E \text{ (ヤング係数)} \times A \text{ (断面積)}} \dots (1)$$

また、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説[2]によりせん断耐力を計算し実験値(付着耐力)で除したものをせん断余裕度(付着耐力に対する)と称することとする。

本実験においては、せん断余裕度に影響して比較値が変動するという傾向はみられなかった。

### 3.10 実験値-計算値の比較 I

図12に実験値-計算値の比較 I を示す。計算値(付着耐力)は3.9で用いた算出方法を用い

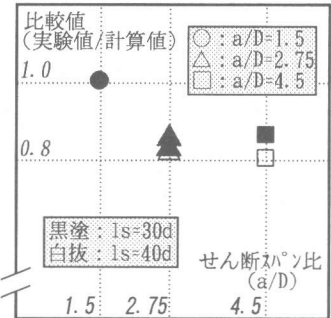


図-11 比較値-せん断スパン比 関係

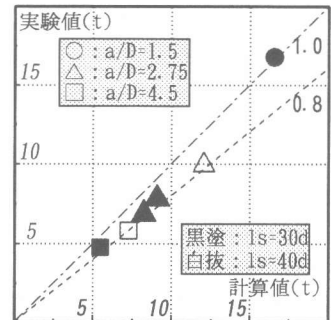


図-12 実験値-計算値の比較 I

た。図中に示す一点波線(1.0)と点線(0.8)は比較値(実験値/計算値)を示す。a/D=1.5では比較値1.0上にはほぼ位置し、a/D=2.75と4.5では比較値0.8上にはほぼ位置するという傾向がみられた。

### 3. 1.1 実験値-計算値の比較Ⅱ

図14に実験値-計算値の比較Ⅱを示す。図12の実験値-計算値Ⅰでは a/D=2.75 と 4.5で計算値を2割程度下回っていること、また図4の柱側主筋の付着応力度-荷重関係にみられるように a/D=2.75 と 4.5では最大耐力の約半分の荷重で継ぎ手区間の端部(④の位置に相当)の付着応力度は低下し、その他の区間(①~③の位置に相当)は付着応力度は上昇するという傾向がみられたため、図13に示す主筋応力度分布を仮定して①~③の区間を”有効継ぎ手長さ”(1s-30d/4)と称することとし、(1)式の継ぎ手長さに”有効継ぎ手長さ(1s′)”を代入し計算値を算出し比較した(1s=40dの場合も1s′=1s-30d/4)。図中の矢印の先端に位置するプロットが、”有効継ぎ手長さ”を用いたものである。a/D=2.75 と 4.5 では比較値0.8(点線)から 1.0(一点波線)に推移する傾向がみられ、実験値の適合性が向上することがわかる。

### 4. まとめ

本実験結果を要約すると以下の通りである。

- 1) a/D=1.5 と 2.75, 4.5 とでは主筋の歪度分布の変化の過程が異なる傾向がみられた。
- 2) 柱側主筋の付着応力度-荷重関係においてa/D=2.75 と 4.5では最大耐力の約半分の荷重で継ぎ手区間の端部(④の位置に相当)の付着応力度は低下し、その他の区間(①~③の位置に相当)は付着応力度は上昇するという傾向がみられ、a/D=1.5 では危険断面側から順に付着応力度が低下または一定となり柱側主筋の先端部(④の位置に相当)の付着応力度が上昇するという傾向がみられた。
- 3) (1)式の継ぎ手長さに”有効継ぎ手長さ”を代入し計算値を算出することにより計算値の適合性が向上する傾向がみられた。
- 4) 終局強度型設計法に対応させるための基礎的データを得た。

■参考文献■ [1] 藤井栄・森田司郎: 異径鉄筋の付着割裂強度に関する研究、日本建築学会論文報告集第319、324号 [2] 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、 [3] 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、

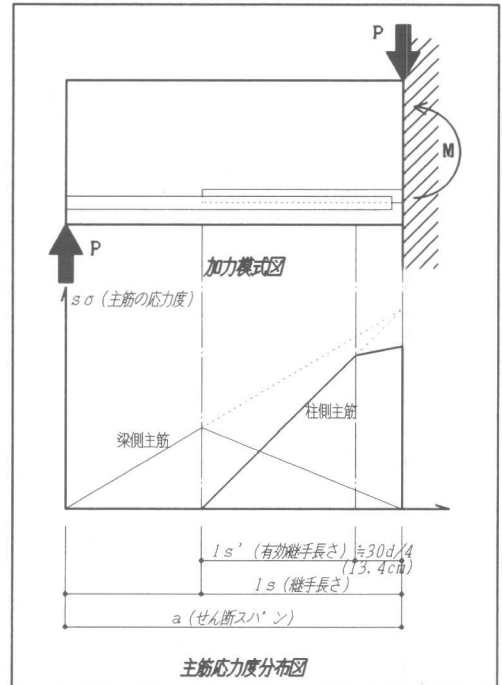


図-13 主筋応力度分布模式図

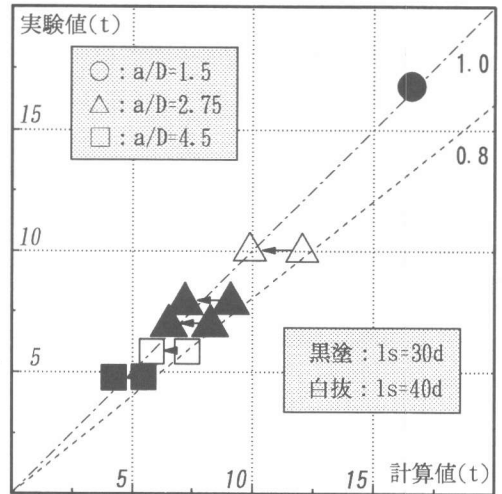


図-14 実験値-計算値の比較Ⅱ