

論文

[2086] はり端部におけるフック付重ね継手の効果

正会員 塚越 英夫 (清水建設技術研究所)
 諸井 陽児 (清水建設技術本部)
 斉藤 豊 (清水建設設計本部)
 正会員 芳村 学 (東京都立大学)

1. はじめに

現行の『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』（日本建築学会、以降RC規準と呼ぶ）では、「重ね継手は、部材応力ならびに鉄筋応力の小さい箇所に設けることを原則とする」および「直径が28mm以上の丸鋼またはD29以上の異形鉄筋においては、通常の場合は重ね継手を用いないものとする」と規定されている。しかし、はり端部で太径鉄筋の重ね継手が可能となれば施工や工業化生産等において種々のメリットが考えられる。

本報告ははり危険断面におけるはり主筋の重ね継手の実用化のための基礎的資料の蓄積を目的として行った実験の結果について述べるものである。

2. 試験体

試験体は表-1および図-1に示す単純はり形式のLS-10~LS-17の8体であり、はりの引張鉄筋比($P_t \approx 1\%$)を一定にして横補強筋量と主筋径および継手形状をパラメータとした。更にLS-11~LS-16ではスタブを挟んだ左右の重ね継手のフックを180°、90°と変え、実験変数を14体とした。試験体の断面寸法は30cm×40cmの矩形であり、図-2に示す重ね継手の形状を持つ配筋とした。尚、重ね継手ははりの下端筋のみとし、上端筋は通し配筋とした。また、シャースパン比は3.6とし1/2模型と考えた。

表-1 試験体一覧

| 試験体 | 重ね継手有効長 | フック | 横補強筋pw(%) | はり主筋 | 備考 |
|-------|---------|-----|-----------|--------|-----------|
| LS-10 | — | — | 0.6 | 8-D19 | 継手なし |
| LS-11 | 20d | 両端 | 0.6 | 8-D19 | 標準試験体 |
| LS-12 | 20d | 両端 | 0.3 | 8-D19 | 横補強筋が半分 |
| LS-13 | 20d | 両端 | 0.9 | 8-D19 | 横補強筋が1.5倍 |
| LS-14 | 23d | 片側 | 0.6 | 8-D19 | スタブ側フックなし |
| LS-15 | 15d | 両端 | 0.6 | 8-D19 | 継手を5dずらす |
| LS-16 | 20d | 両端 | 0.6 | 6-D22 | 太径鉄筋 |
| LS-17 | 20d | 両端 | 0.6 | 12-D16 | 2段配筋 |

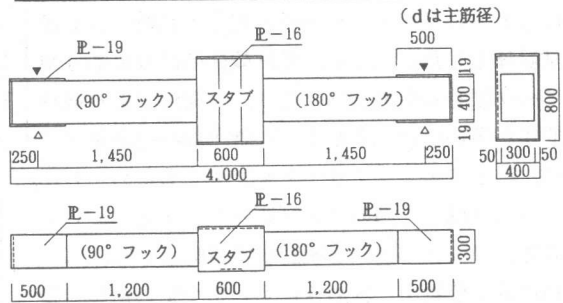


図-1 試験体形状

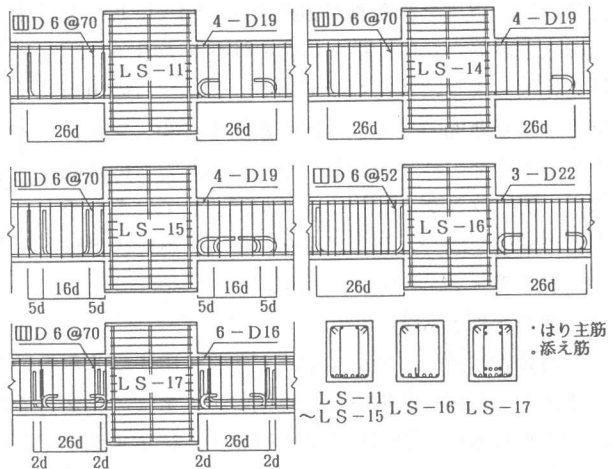


図-2 重ね継手の形状

このためスケール効果を考慮してコンクリートの粗骨材の最大粒径を10mmとし、鉄筋のかぶり厚さを通常の1/2程度とした。これにより使用した主筋のD16、D19、D22はそれぞれD32、D38、D41に相当することになる。共通事項としてフックの折り曲げ内法直径は4dとし、余長は180°フックの場合には4d、90°フックの場合は12dとした。有効継手長さは折り曲げ起点間距離（フックなしの場合は端部まで）とし、20dを標準とした（図-3参照）。これはコンクリートの設計基準強度が250kg/cm²以下でSD35の場合にRC標準で規定されるフック付重ね継手の最小限長さが20dとなっているためである。尚、重ね部分ではスタブを貫通しはりに延長した鉄筋を『添え筋』と、はり部分にのみある主筋を『はり主筋』と称し、等間隔に交互に配した。

LS-10は継手なしの試験体であり、LS-11、12、13は継手形状を同一とし横補強筋を0.6%、0.3%、0.9%に変化させた場合の試験体である。特にLS-11はLS-12~17に対して比較される標準試験体とした。ただし、各試験体のはりの曲げ耐力時の必要せん断補強筋比は0.3%未満であり横補強筋量が多いのは主として重ね継手部の付着破壊防止のためとコアコンクリートを拘束するためとした。LS-14ははり主筋のスタブ側のフックをなくしたもので、フックの効果を確認する目的とした。LS-15は継手位置が一本おきに5dずつずれた場合の挙動を調べるもので、有効継手長さを15dとした。LS-16、17はそれぞれ引張鉄筋比を同一にした場合の太径鉄筋と二段配筋の場合の性状をLS-10、11と比較しようとしたものである。LS-17の重ね継手ははり断面のコーナー部の鉄筋を180°フックとし、中央部の鉄筋を90°フックとした。この試験体は180°フックと90°フックが混在しているため左右の配筋を同一とした。また、用いた材料の機械的性質を表-2、表-3に示す。

3. 加力と測定方法

加力装置は図-4に示す形式であり、中央の2台のアクチュエーターでスタブの回転を拘束し、外側のアクチュエーターで片持はり形式の加力を行った。加力サイクルは表-4に示す通りであり、左右同一方向の変形制御加力とした。これはスタブに一点加力する既往の方法

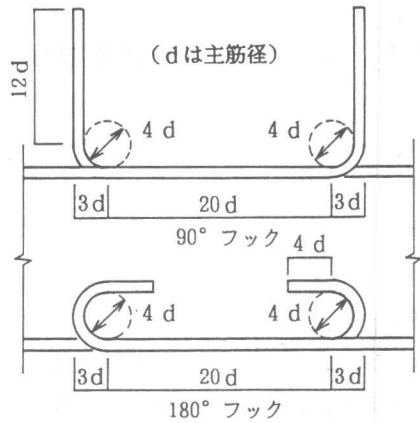


図-3 継手部分の寸法

表-2 コンクリートの特性

| 圧縮強度 (kgf/cm ²) | ヤング係数 (tf/cm ²) | ポアソン比 | 割裂強度 (kgf/cm ²) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|
| 215 | 217 | 0.20 | 17.4 |

表-3 鉄筋の機械的性質

| 呼び名 | 降伏強度 (tf/cm ²) | 引張強度 (tf/cm ²) | 降伏比 | 伸び (%) | ヤング係数 (tf/cm ²) |
|-----|----------------------------|----------------------------|------|--------|-----------------------------|
| D6 | 3.62 | 5.21 | 0.69 | 19 | 1730 |
| D16 | 3.88 | 5.91 | 0.66 | 22 | 1940 |
| D19 | 3.67 | 5.92 | 0.62 | 24 | 1960 |
| D22 | 3.63 | 5.58 | 0.65 | 26 | 1980 |

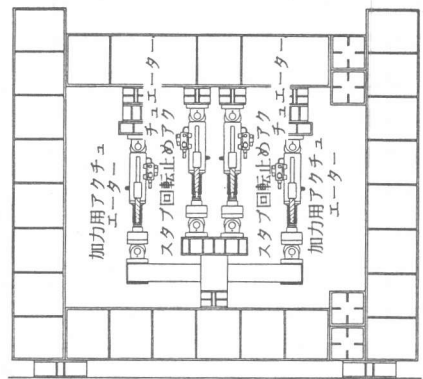


図-4 加力装置

表-4 加力サイクル

| サイクル | 部材角 | サイクル | 部材角 |
|------|--------|------|-------------------|
| 1 | 1/1000 | 6 | 1/100 |
| 2 | 1/400 | 7 | 1/50 |
| 3 | 1/200 | 8 | |
| 4 | | 9 | 正方向 いける 所まで |
| 5 | 1/100 | | |

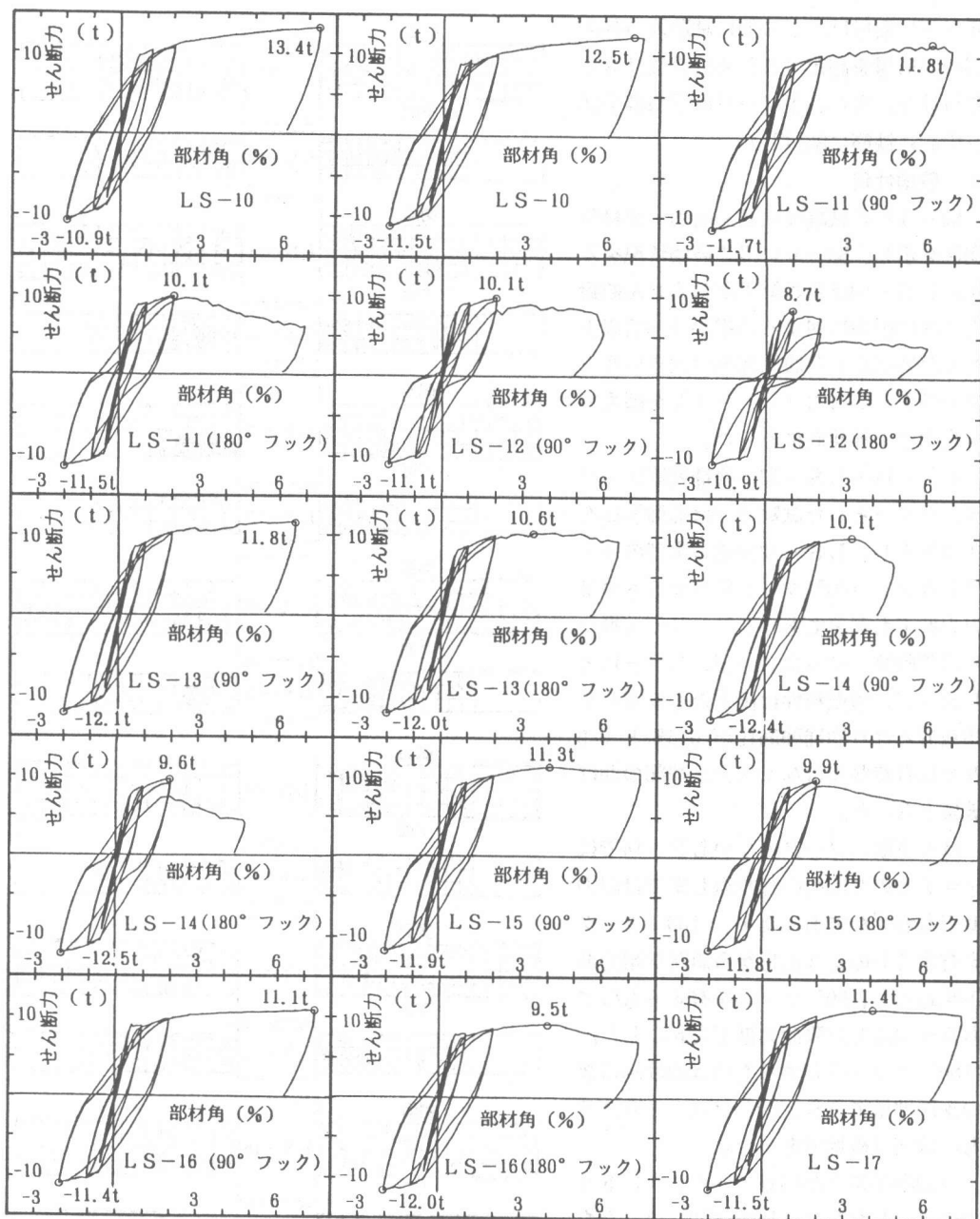


図-5 せん断力-部材角関係

を用いた場合、左右の梁のどちらかが先に破壊した時に左右の変形角が異なり制御が不明確になること、およびスタブの回転の影響を実験中に除くことができないことを防止し、更に試験体の左右にそれぞれ別の実験変数を用いることを可能にするためである。

はり端部の制御用変位形はスタブから取り出したゲージホ

ルダーに取付け、この他に試験体の各区間の変形量を測定するための変位計も取り付けた。また、歪ゲージは重ね継手部を中心に鉄筋に貼付した。

4. 破壊性状

図-5に各試験体のせん断力-部材角関係を示し、図-6に最終破壊状況を示す。LS-10は重ね継手がなくせん断耐力の曲げ耐力に対する余裕が1.9倍以上あるため安定した履歴面積の大きいループを描き、部材角(R) = 7%を超えても耐力は上昇傾向にあった。

LS-11~LS-13の横補強筋比をパラメーターとした試験体では補強筋比を0.3%としたLS-12が逆S字型のループを描き、180°フックを有するものは耐力低下も顕著でありこのシリーズ唯一の付着破壊となった。一方、LS-11とLS-13の履歴特性は両方とも安定した紡錘形となり横補強筋比が0.6%と0.9%では有意な差はなくスタブ端部の曲げ破壊となった。

はり主筋にフックのないLS-14では $R=2\%$ の2回目の繰返しまでは耐力低下もわずかであったが、180°フックを有するものは3回目から急激な耐力低下を起こし、90°フックを有するものでも $R=3.5\%$ 以降耐力低下を起こした。

180°フックを有するものは曲げ降伏後の支圧破壊であり、90°フックを有するものは曲げ破壊であった。

有効継手長さが15dで一本おきに5dずつずらしたLS-15では90°フックを有するものは若干の逆S字傾向はあるものの大変形になっても耐力低下が殆ど起こらなかったが、180°フックを有するものは $R=2\%$ の3回目の繰返しから耐力低下を起こした。

LS-16は太径鉄筋を用い、LS-17は2段配筋であるが双方とも履歴面積の

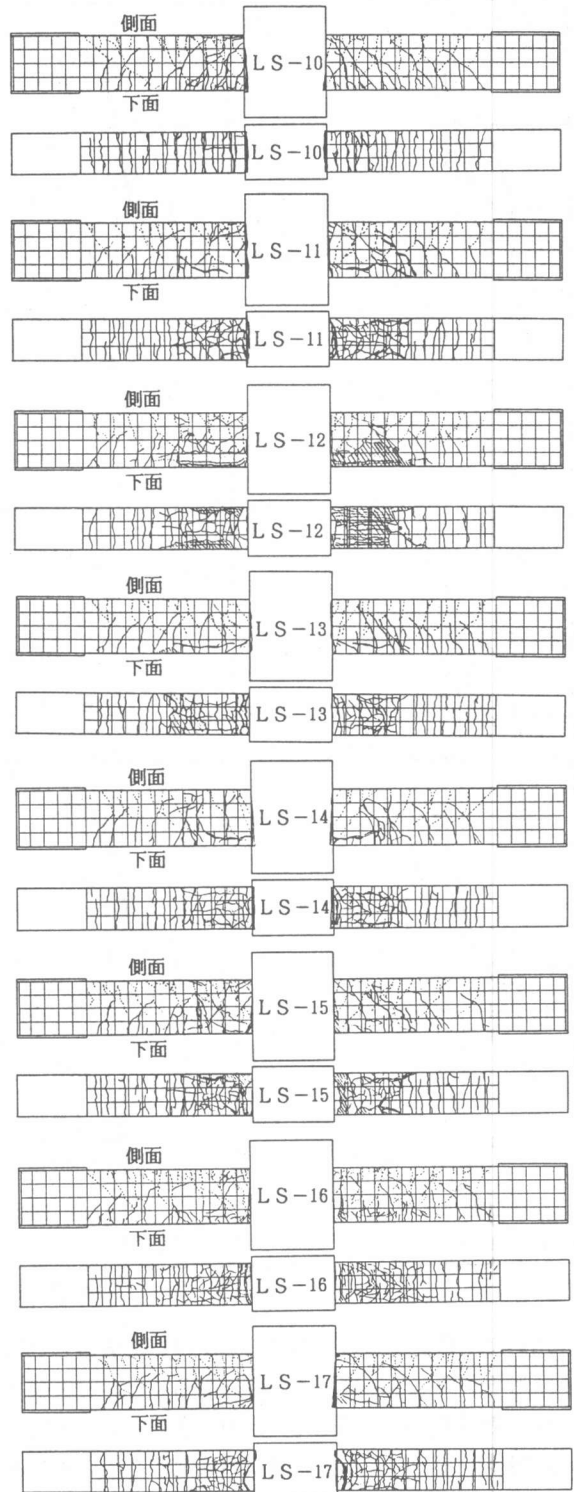


図-6 最終破壊状況

大きい安定した曲げ破壊型のループを示した。尚、LS-16の180°フックを有するものは大変形時に多少の耐力低下を起こした。

5. 最大耐力

実験から得られた最大耐力とe関数法による曲げ耐力、荒川min式より求めたせん断耐力および藤井ら¹⁾が提案した全割裂時の付着応力度(τ_u)に有効断面積(b_j)を乗じて付着耐力としたものを表-5に示す。これによると90°フックの場合の実験値はいずれも計算値の曲げ耐力より高くその比率は1.05~1.23倍となっていた。一方、180°フックの実値は90°フックに比べて全般的に低く、曲げ耐力計算値に達しないものもある。また、計算値では曲げ耐力に対するせん断耐力と付着耐力の余裕率は25%以上あったがLS-12の180°フックを有するものの破壊モードは曲げ降伏後の全割裂による付着破壊となった。

6. フック付継手の応力伝達

フックのない重ね継手の力学的特性は文献1)、2)によって示され、フック付の場合も文献3)にその定着機構の基本的考え方が示されている。180°フックの場合にはコンクリートの付着による鉄筋の応力伝達と図-7に示すように対向するフック間の支圧による鉄筋の応力伝達が発生する。90°フックの場合にはコンクリートの付着による鉄筋の応力伝達と『添え筋のフック部分の支圧が対向するフック方向のみでなく前面に分散し、広い範囲にわたる支圧となりその一部はやはり端部の圧縮側のコンクリートと釣合いをとる』と考えるとスタブ側のフックは重要ではなくなる。そこで、LS-14ではやはり主筋のフックをなくした。結果として90°フックを有するものはR=3%以上で最大耐力を記録し、この部材角付近までは標準試験体のLS-11とあまり履歴特性に差異はなかったが、180°フックを有するものはR=2%の繰返しで急激な耐力低下を起こし有意な差がでた。このLS-14の加力後のコア部分を切断して示したのが図-8である。これを見ると添え筋の90°フックの内側にひびわれの入っていない大きな部分と180°フック支圧部の圧壊が確認できる。

次に標準試験体のLS-11とLS-14のフック付重ね継手部の鉄筋の歪分布を図-9に示す(各部材角とも処女載荷時)。やはり主筋の歪はスタブ端から次第に大きくなり、添え筋端部で最大となってこれ以降は減少する。添え

表-5 最大耐力

| 試験体 | 実験値(t) | | 計算値(t) | | |
|-------|--------|------|--------|------|------|
| | 90° | 180° | 曲げ | せん断 | 付着 |
| LS-10 | 12.1 | | 9.6 | 18.5 | 14.2 |
| LS-11 | 11.8 | 10.1 | 9.6 | 18.5 | 14.2 |
| LS-12 | 10.1 | 8.7 | 9.6 | 12.5 | 12.1 |
| LS-13 | 11.8 | 10.6 | 9.6 | 24.6 | 16.2 |
| LS-14 | 10.1 | 9.6 | 9.6 | 18.5 | 14.2 |
| LS-15 | 11.3 | 9.9 | 9.6 | 18.5 | 14.2 |
| LS-16 | 11.1 | 9.5 | 9.6 | 18.5 | 16.1 |
| LS-17 | 11.5 | | 9.9 | 18.6 | 15.9 |

実験値はLS-10では左右と正負の平均、LS-11~16では下端引張時、LS-17では下端引張時の左右の平均、曲げ耐力はe関数法、せん断耐力は荒川min式、付着耐力(τ_u)は下式

$$\tau_u = (0.307 b_i + 0.427 + 24.9 k Ast / s N d) \sqrt{\sigma_u}$$
 b_i : 割裂抵抗面の尺度 k : 全割裂は1.0
 Ast : 横補強筋の断面積 s : 横補強筋の間隔
 N : 主筋本数 d : 主筋径

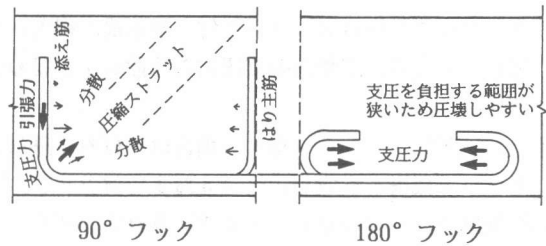


図-7 フックの応力伝達

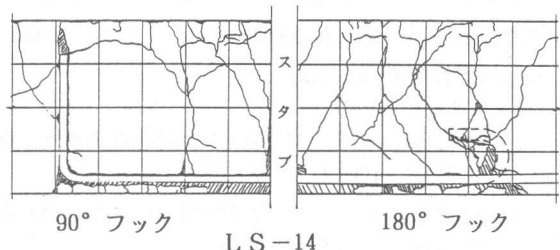


図-8 コア部分の破壊状況

筋ははり危険断面で急激に歪値が大きくなっているが、その大きさは 180° 側の方がやや小さい。添え筋の降伏の進展は LS-14の方が早く、R=1%時に付着劣化がスタブ端部に起きている。しかし、フック近傍の定着は健全であり、R=2%の処女載荷までは両方とも耐力低下していないことに対応している。

180° フックでは対向するはり主筋にフックがないと支圧力を受けるコンクリートの拘束が弱くなるが、90° フックではフック間のコンクリートの拘束よりも添え筋の定着が大きな比率を占め、はり主筋のフックの影響は少ないことが判った。

更に、90° フックの添え筋の折り曲げた

先の歪は R=2%時に約1300 μ と大きく、添え筋の引張力は折り曲げ部においてコンクリートストラットの圧縮力と余長部の引張力から成る釣合い系を形成したと思われる。

7. まとめ

14種類の実験変数を持つ 8体の 1/2模型試験体の静的繰り返し加力実験を行い以下の結果を得た。

- ①太径鉄筋 (D19・SD35、実大ではD38相当) を用いた引張鉄筋比 $P_t \approx 1\%$ の試験体はフック付の場合、重ね継手長さが20dあれば安定した履歴性状を示し、更に太径 (D22、実大ではD41相当) でもフック付ならば 0.6%の横補強筋量で安定した挙動を示す。
- ②横補強筋の効果は 0.6%と 0.3%の間には有意な差があったが、0.6%と 0.9%の差は殆どなかった。
- ③90° フック付は 180° フック付よりも最大耐力がやや大きく安定した履歴性状を示した。この理由として添え筋端部の支圧力の分散およびはり端部の圧縮側のコンクリートとの釣合いが挙げられる。
- ④添え筋が90° フックを有する場合は、はり主筋端部にフックがなくとも添え筋のフック部でストラット機構を形成し、R=3%まではフックがあるものと同様の安定した履歴性状を示した。
- ⑤有効継手長さが15dで一本おきに5dずつずらした試験体で90° フック付の場合は安定した挙動を示した。このことは15dの重ね継手でも安定した履歴性状が得られる可能性を含んでいると考えられ、今後の課題としたい。
- ⑥2段配筋の重ね継手は主筋径が細く、一列にならぶ鉄筋比が約 0.7%であったため極めて安定した履歴性状を示した。

〔参考文献〕

- 1) 藤井、森田；『異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 (第1報)』日本建築学会論文報告集 第319号、1982.9 PP47~55
- 2) Orangun, C.O., et al., "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices", ACI Journal, May-June 1985
- 3) 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 (案)・同解説』1988

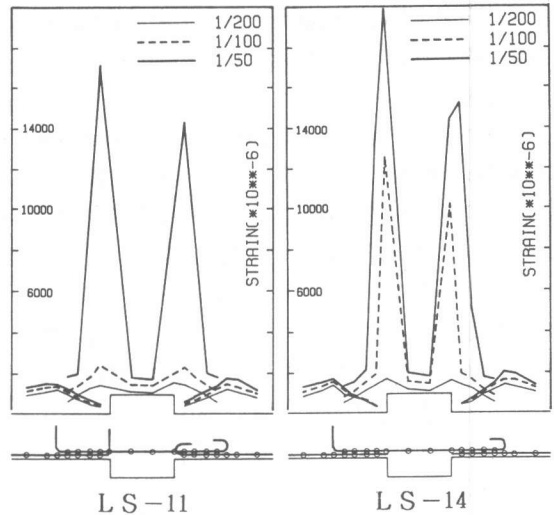


図-9 重ね継手の鉄筋の歪分布