

論文 RC 梁の重ね継手実験

國安早映*1・坂田弘安*2・市之瀬敏勝*3・加藤三晴*4

要旨:RC 梁の重ね継手の並べ方, 継手主筋と横補強筋との空き, 中子筋の有無, 継手主筋部のコンクリートのプレキャスト化の4点が継手主筋の付着強度と横補強筋の応力に及ぼす影響を実験的に検証した。また, 主筋のはね上がりを抑えるように横補強筋から形成される三角梁を考慮した解析方法の適合性を比較検討した。その結果, 継手主筋と横補強筋との空きと中子筋の存在が重ね継手の付着強度の上昇に寄与することを確認した。また, 継手主筋と横補強筋との空きが無い場合には三角梁の存在を確認でき, 解析の有効性を確認できた。

キーワード:重ね継手, 継手主筋と横補強筋との空き, 中子筋, 水平継手, 鉛直継手

1. 序論

RC 梁の重ね継手における付着強度は, 横補強筋を高強度化してもほとんど上昇しない実験結果が多い。しかし, 文献[1]に示した三角梁の仮説が正しいとすると横補強筋から主筋を若干離すことによって付着強度が上昇する可能性がある。また, 重ね継手の並べ方や横補強筋の配筋方法が付着強度に及ぼす影響も大きいと考えられる。本研究は, このことを検証するため, 補強筋比を一定として, 横補強筋と主筋の空き, 重ね継手の並べ方, 中子筋の有無などをパラメータとし, 鉄筋コンクリート梁における重ね継手の付着特性を調べることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 試験体概要

表1に試験体一覧を示す。横補強筋と主筋(D19)の空きのdは主筋径を表す。図1に各試験体の断面図及び配筋側面図を示す。図中に示すように試験部とスタブとの縁を切るために厚さ12mmのベニヤ板をいれた。

表1 試験体一覧

| 試験体名 | 継手長さ(mm) | 補強筋比(%) | 補強筋間隔(mm) | プレキャスト | 中子筋 | 継手主筋 | 横補強筋と主筋との空き | 最大強度(kN) | 付着強度(MPa) |
|-----------|----------|---------|-----------|--------|-----|------|-------------|----------|-----------|
| M-4-H-0d | 380 | 0.56 | 96 | 無 | 有 | 水平 | 無; 0d | 364.0 | 3.4 |
| M-4-H-1d | | | | 無 | 有 | 水平 | 有; 1d | 428.3 | 4.0 |
| *M-4-V-0d | | | | 無 | 有 | 鉛直 | 無; 0d | 342.4 | 3.3 |
| M-4-V-1d | | | | 無 | 有 | 鉛直 | 有; 1d | 433.9 | 4.2 |
| M-2-H-0d | | | | 無 | 無 | 水平 | 無; 0d | 355.1 | 3.3 |
| M-2-H-1d | | | | 無 | 無 | 水平 | 有; 1d | 382.0 | 3.5 |
| *M-2-V-0d | | | 48 | 無 | 無 | 鉛直 | 無; 0d | 296.6 | 2.9 |
| *M-2-V-1d | | | | 無 | 無 | 鉛直 | 有; 1d | 239.6 | 2.3 |
| *P-2-H-0d | | | | 有 | 無 | 水平 | 無; 0d | 226.4 | 2.1 |
| *P-2-H-1d | | | | 有 | 無 | 水平 | 有; 1d | 217.0 | 2.0 |
| *P-2-V-0d | | | | 有 | 無 | 鉛直 | 無; 0d | 180.3 | 1.7 |
| *P-2-V-1d | | | | 有 | 無 | 鉛直 | 有; 1d | 211.6 | 2.0 |

*は荷重検出機が不調であったために最大強度に関しては信頼性に欠ける事を示す。
実験後のキャリブレーションによると実際の強度に対して75~85%程度の値であると予想できる。

- *1 日本システム設計(株)(正会員)
- *2 愛知産業大学助教授 建築学科, 工博(正会員)
- *3 名古屋工業大学教授 社会開発工学科, 工博(正会員)
- *4 矢作建設工業(株)建設工務部, 次長(正会員)

Pシリーズの試験体に対しては、このベニヤ間で図(e)~(f)断面に示した位置をプレキャストとした。

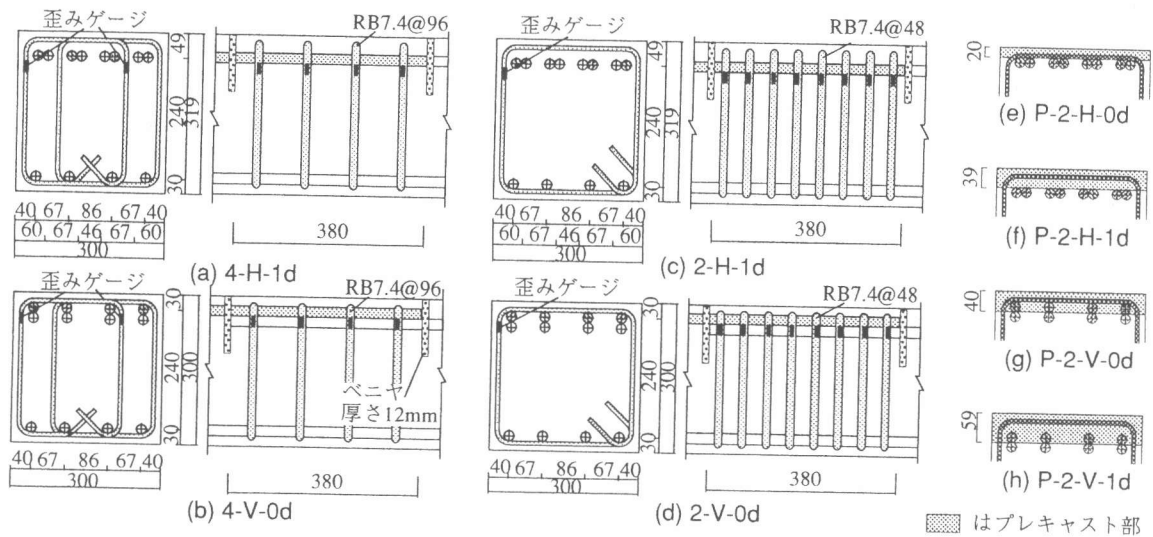


図1 断面図, 配筋側面図 (mm)

2.2 載荷方法

図2に載荷方法を示す。試験部が純曲げとなるように載荷した。

2.3 歪み及び変形の測定方法

歪ゲージは、図1中の横補強筋の黒塗りの部分に8箇所、2枚1組計16枚貼付した。変位計は、図3に示す様に3箇所に取り付けた。

3. 実験結果

3.1 最大強度, 付着強度及び荷重-変形

表1に各試験体の最大強度及び付着強度を示す。なお表中の付着強度は(1)式により求めた。

$$\tau_{exp} = \frac{M_u}{j_e \cdot \Psi \cdot l_d} \quad (1)$$

但し、 M_u :最大曲げモーメント j_e :応力中心間距離 Ψ :主筋周長(4本分) l_d :継手長さ

次に、実験結果に信頼性のある試験体(表1の*印の無いもの)について比較検討する。図4に水平に重ね継手したM-Hシリーズの荷重変形関係を、図5に中子筋を有し横補強筋を継手主筋から1d離れたM-4-H-1d及び

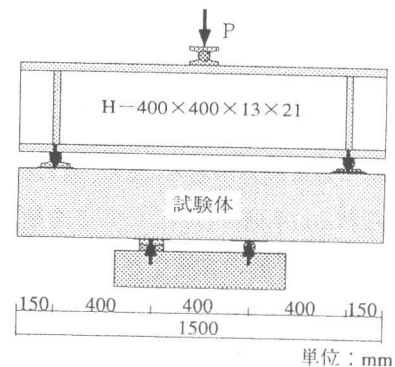


図2 載荷装置図 (mm)

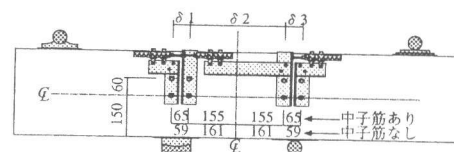


図3 変位計取り付け位置 (mm)

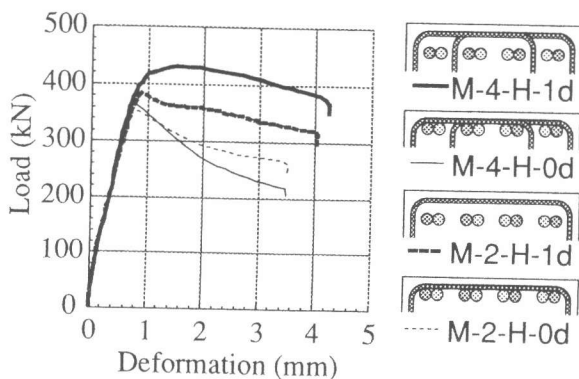


図4 M-Hシリーズ荷重-変形関係

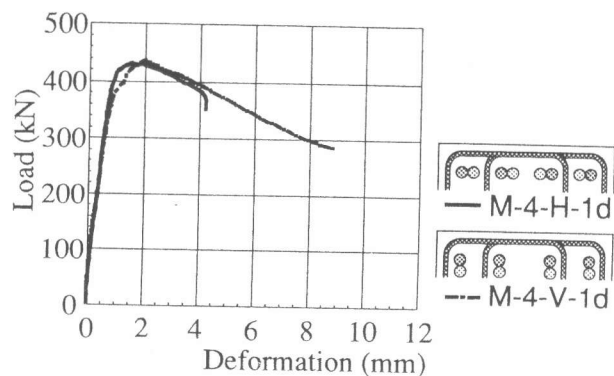
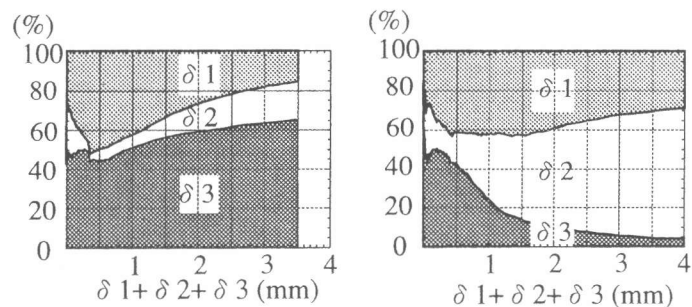


図5 M-4-H-1d及びM-4-V-1d荷重-変形関係

M4-V-1dの荷重変形関係を示す。なお横軸の変形は3つの変位計によって求められた値の合計である。図4の0dと1dを比較すると、中子筋の有無にかかわらず横補強筋から主筋を1d離れた方が付着強度が大きい。ただし、その傾向は、中子筋が有るものの方が顕著である。また、M4とM-2を比較すると、中子筋が有るものは無いものに比べて付着強度が大きい。ただし、その傾向は、主筋と横補強筋の間に空きが有るものの方が顕著である。図5を比較すると、主筋を水平に重ね継手しても垂直に重ね継手しても、付着強度にほとんど差は見られない。

3.2 破壊形状

図6に中子筋を有する試験体の全変形に対する各部分の変形の割合を示す。横軸は全変形を示し、縦軸は各部分の変形の割合を示している。 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$ は、試験部左端、中央、右端の変位計が示した値に対応している。図6(a)の水平に重ね継手したH-0dと、図6(b)の鉛直に重ね継手したV-0dを比較すると、どちらも初期においては試験部両端における変形 $\delta 1$ 、 $\delta 3$ が大きくなっている。しかし、変形が進むにつれ図6(b)のV-0dでは中央部の変形 $\delta 2$ の割合が大きくなり、図6(a)のH-0dではこの傾向は顕著ではない。また、図6(a)のH-0dでは、変形が進むにつれて $\delta 1$ の割合が小さくなるのに対して、 $\delta 3$ の割合が大きくなっている。その他のHシリーズの試験体にも同様の傾向が見られた。これは、図1の配筋図に示したように $\delta 1$ の側の主筋が横補強筋の角に位置するのに対して、 $\delta 3$ の側の主筋はその内側に位置するためと考えられる。これらのことは図8に示した最終破壊状況を見て分かるように、HとVでは破壊形式が異なっていることに対応していると言える。すなわち、Vでは図7に示したように継手主筋間で破壊面が形成されるような破壊形式を示すのに対して、Hでは試験部両端に軸方向に垂直なひび割れが集中して見られる破壊形式になっている。



(a) M4-H-0d (b) M4-V-0d
図6 変形の割合

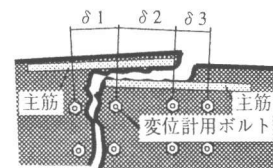


図7 Vシリーズ破壊モード

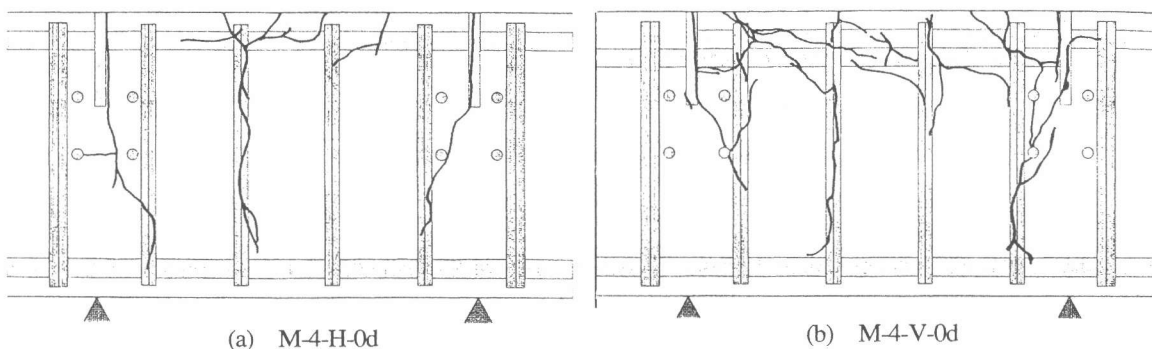


図8 最終破壊状況

3.3 補強筋の歪

図9の(a)に最大荷重から1割低下した時点における中子筋の無いM-2シリーズの横補強筋の歪分布を示す。

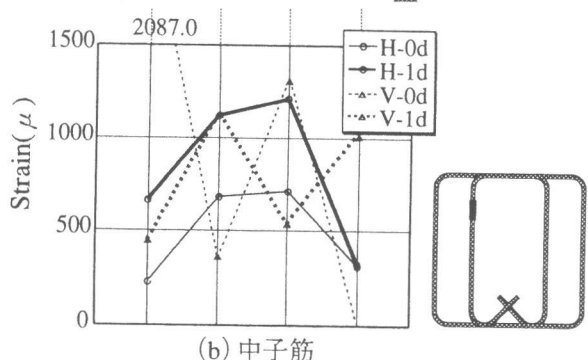
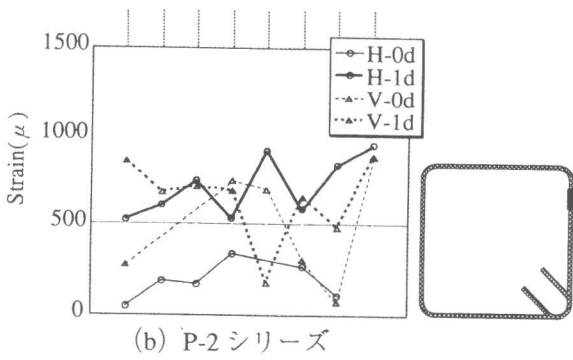
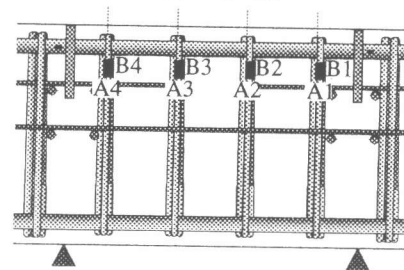
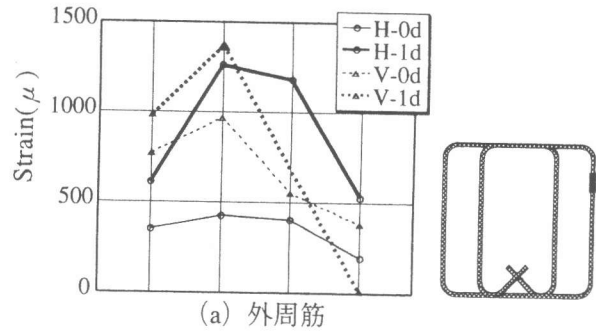
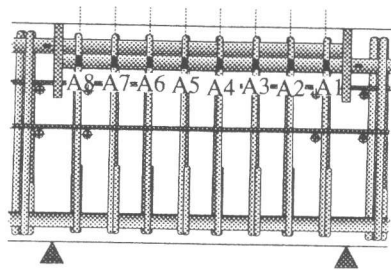
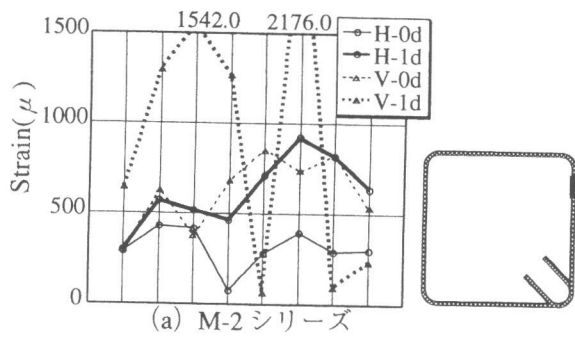


図9 横補強筋歪分布 2シリーズ

図10 横補強筋歪分布 4シリーズ

(b)に中子筋の無いP-2シリーズの横補強筋の歪分布を示す。また、図10の(a)に中子筋を有するM-4シリーズの横補強筋の外周筋歪分布を、(b)に中子筋歪分布を示す。ここでは平均歪が負の値のものを省いた。

【主筋とのあきによる比較】図9の(a)に太実線で示すH-1dの歪は、細実線のH-0dよりかなり大きい。図9の(b)に太実線で示すH-1dの歪と、細実線のH-0dも同様である。これにより、横補強筋と継手主筋を離すことによって横補強筋の拘束効果が增大していることが判る。Vシリーズについては、試験体右半分の横補強筋の歪分布にばらつきが見られる。しかし、左半分の歪分布からHシリーズと同様の事が判る。

図10に太実線で示すH-1dの外周筋及び中子筋の歪は、細実線のH-0dより大きい。これにより中子筋を有する試験体でも、横補強筋と継手主筋を離すことによって横補強筋の拘束効果が增大していることが判る。

【一体打ちとプレキャストとの比較】図9の(a)の実線で示されるM-2-Hシリーズと、(b)の実線で示されるP-2-Hシリーズを比較する。両シリーズの各々の横補強筋の歪は、ほとんど同程度の値を示している。つまり、継手主筋部のコンクリートをプレキャスト化しても一体打にしても横補強筋の拘束効果に差は無い。

【外周筋と中子筋との比較】図10の(a)と(b)について比較する。図9の細実線のH-0dにおいては、外周筋に比べて中子筋の歪が大きくなっている。これは、中継手に対する中子筋の拘束効果が、隅継手に対する拘束効果より大きいことを示している。一方、太実線のH-1dにおいては、1本の横補強筋の外周筋と中子筋の歪に大差は無く、ほぼ同程度である。これは、横補強筋と継手主筋を離すことによって、継手主筋の抜け出しに伴う直接的な応力伝達が無くなるためである。次に図9と図10を比較してみると、図9に比べ図10の各横補強筋の歪は大きい。これにより中子筋を有する横補強筋の拘束効果の高さを認めることができる。また図10

の実線のHシリーズの試験部分中央の横補強筋の歪が大きくなる傾向が認められる。このことにより、主筋を水平に重ね継手する場合、中子筋を有する横補強筋は継手中央に位置するほど拘束効果が高まる傾向があることが判る。

4. 解析結果と実験結果との比較

次に文献[1]の三角梁を考慮して文献[2]で提案された解析方法を使用して求めた荷重歪関係の解析結果と実験結果を比較する。三角梁について簡単に説明する。図11に示すように補強筋のまわりにコンクリートが三角状に付着して形成される三角形の断面を有する梁を三角梁と呼ぶ。三角梁は主筋のはね上りを押さえる働きをされると考えられる。三角梁が主筋から力を受けると三角梁に取り付くバネが伸び三角梁が曲げ変形を起こす。

図12に水平に重ね継手した中子筋の無いM-2-Hシリーズの横補強筋の歪と荷重の関係を示す。(a)は横補強筋と継手主筋の間に空気がない試験体0dを、(b)は横補強筋と継手主筋を離れた試験体1dを対象とする。図の左部分のグラフは実験結果を、右部分のグラフは解析結果を示す。

図12(a)を比較すると、解析結果の最大強度は実験結果より低いものの、横補強筋の歪は図12(b)に比べれば対応していると言って良い。これは、写真1から分かるように横補強筋周りに三角梁が形成されていることによる。しかし、図12(b)を比較すると、解析結果の横

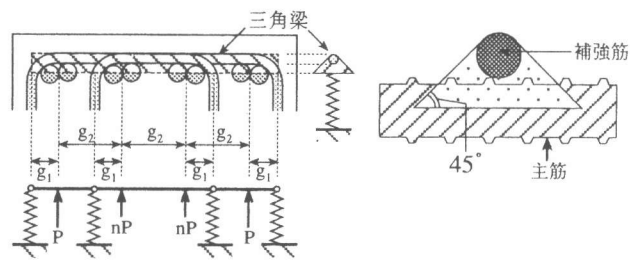


図11 三角梁モデル

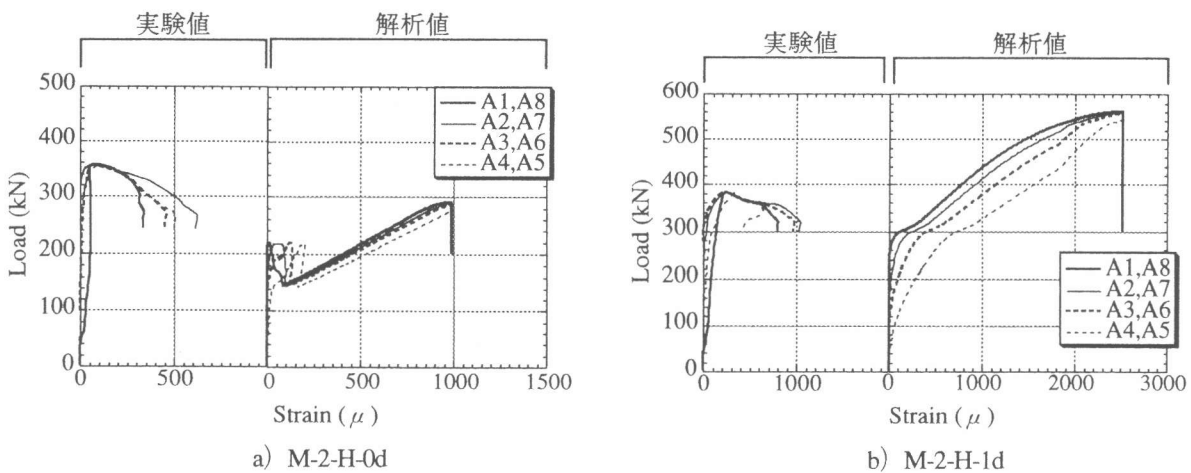


図12 横補強筋歪 - 荷重関係

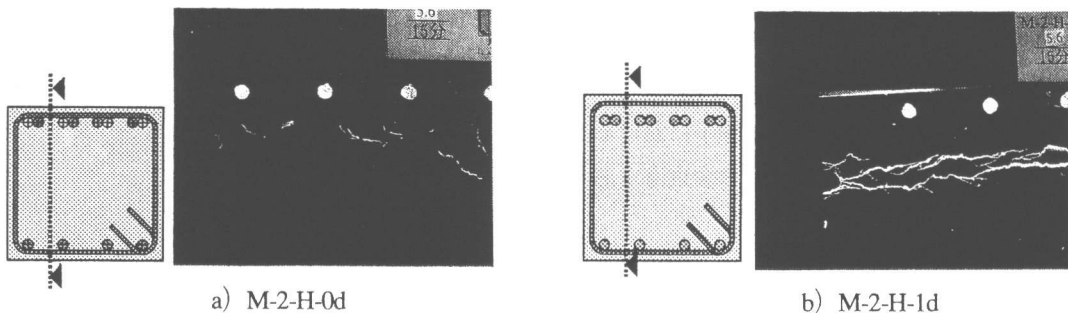


写真1 内部破壊状況 (写真中の●は補強筋断面をである)

補強筋の歪は実験結果に比べてかなり大きい値を示す。これは、解析では横補強筋と継手主筋の空きにかかわらず三角梁が形成されると仮定しているが、実際には、写真1から分かるように三角梁が形成されていないことによると思われる。また図12(a)と(b)を見ると、横補強筋の歪がある範囲で一定のまま荷重が低下しているのが分かる。これは解析結果においても同様の現象が見られる。

図13に水平に重ね継手した中子筋の有るM-4-Hシリーズの横補強筋の歪と荷重の関係を示す。図13(a)は外周筋の、図13(b)は中子筋の歪と荷重の関係である。図の左部分のグラフは実験結果を、右部分のグラフは解析結果を示す。

図13(a)を比較すると、外周筋については実験結果と解析結果は良く対応している。これも、写真2から分かるように横補強筋周りに三角梁が形成されていることによる。この三角梁は写真1(a)のM-2-H-0dの試験体よりもはっきりと確認することができる。一方、図13(b)を比較すると、解析結果の中子筋の歪は実験結果に比べてかなり大きい値を示す。以上のことより、文献[2]の解析は中子筋の応力負担分を実際より過大評価していると言える。また図13(a)と(b)を見ると、M-2-Hシリーズと同様に、横補強筋の歪がある範囲で一定のまま荷重が低下しているのが分かる。これは解析結果においても同様の現象が見られる。

5. 結論

- 1) 横補強筋と継手主筋の空きをとることにより重ね継手の付着強度が上昇する。また、横補強筋の拘束効果も大きくなる。
- 2) 中子筋の存在により付着強度が上昇する。また、横補強筋の拘束効果も大きくなる。特に横補強筋と継手主筋に空きがある場合にこの傾向が顕著である。
- 3) 水平重ね継手では試験部両端に軸方向に垂直なひび割れが集中するような破壊形式を示すが、鉛直重ね継手では継手主筋間で破壊面が形成されるような破壊形式を示す。
- 4) 横補強筋と継手主筋に空きがある場合は三角梁は形成されない。

参考文献

- [1] 村田, 市之瀬, 林: 中子筋を有するRC部材の重ね継手の解析, コンクリート工学年次論文報告集, pp.1161-1166, Vol.17, No.2, 1995
- [2] 市之瀬, 林, 榊原: RC部材の重ね継手における応力分布(その1 解析法), 日本建築学会東海支部研究発表会, pp.257-260, 1995

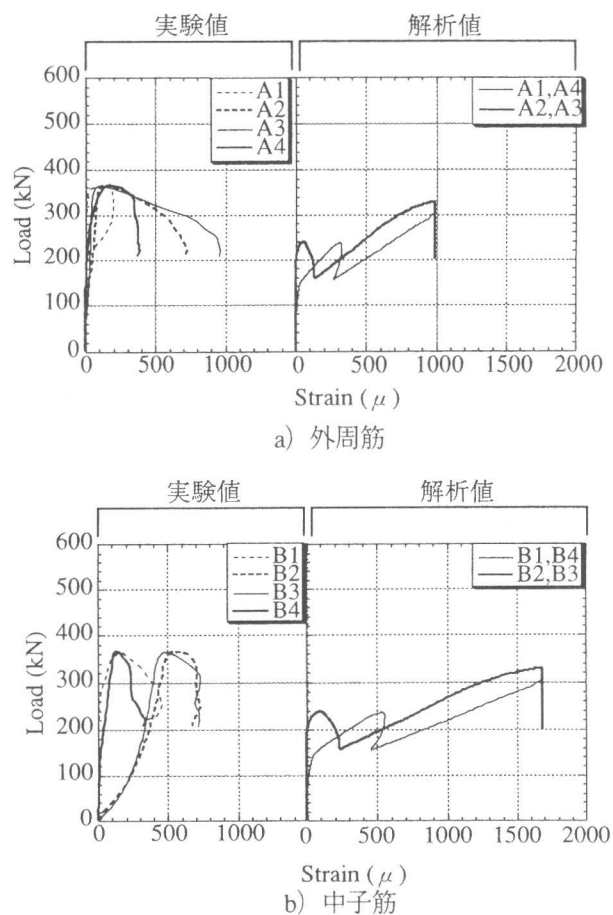


図13 M-4-H-0d横補強筋歪 - 荷重関係

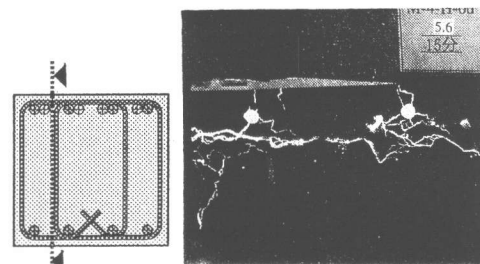


写真2 M-4-H-0d内部破壊状況 (写真中の●は補強筋断面)