

論文

[2036] 重ね継ぎ手の応力伝達機構に関する有限要素法解析

香取慶一*1 · 林静雄*2 · 東健二*3 · 郭濟蒼*4

1. はじめに

現在、継ぎ手部で部材のエネルギーを吸収することを考慮した設計法は確立されておらず、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」においては、継ぎ手を応力の大きい箇所や集中して一箇所に設けることは認められていない。重ね継ぎ手を有する部材には、継ぎ手のない部材と同等の靱性を確保する必要がある。継ぎ手部材の靱性を増すためには、重ね長さを長くすること、応力伝達に有効な幅を増やすこと、主筋の近傍のコンクリートを拘束する横補強筋を増すことなどが考えられる。十分な靱性を確保することが可能ならば、継ぎ手のない部材に対する設計法を継ぎ手を有する部材にそのまま適用でき、P C a 造建物に対する施工の自由度は広がる。しかし、重ね継ぎ手の研究は強度に関するものにかたより変形性能に関する研究は少ない。また、重ね継ぎ手内部の詳細な応力伝達は複雑であり、実験的に調べることは難しいことより未だ不明な点も多い。

本研究は、重ね継ぎ手の応力伝達機構を明らかにするために行った有限要素法解析結果と実験結果について考察したものである。

表1 試験体一覧

試験体 No	主筋径	重ね長さ	横補強筋	補強筋比 (%)
1	D 25	16 d	D 10 @ 200	0.24
2			@ 100	0.48
3			@ 50	0.95

d : 主筋径

2. 実験

2.1 実験概要

試験体の一覧を表1に示す。試験体の実験変数は横補強筋量 p_w で、0.24、0.48、0.95%の3種類である。試験体の配筋詳細を図1に示す。試験体は2組の継ぎ手主筋からなっており、試験体の断面は、 $30.0 \times 30.0\text{cm}$ である。重ね長さは16dで、応力を伝達する継ぎ手主筋の間隔は60mm (2.4d)、主筋間隔は68mm (2.7d)である。主筋には、D25を、横補強

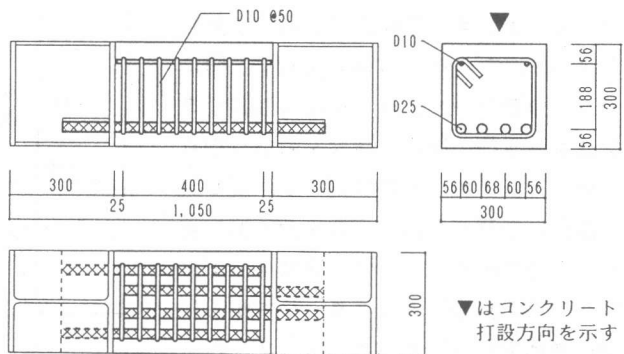


図1 試験体配筋詳細 (No. 3)

- * 1 東京工業大学工業材料研究所助手、工修 (正会員)
- * 2 東京工業大学工業材料研究所助教授、工博 (正会員)
- * 3 東京工業大学工業材料研究所研究生、工修 (正会員)
- * 4 東京工業大学工業材料研究所研究生

筋にはD10を用い、主筋の降伏より付着割裂破壊を先行させるように、主筋には焼き入れ処理をほどこし降伏強度を10000kgf/cm²程度まで高めた。コンクリートは、粗骨材最大粒径25mmの普通コンクリートである。コンクリートは打設方向による主筋の付着強度のばらつきをなくすため、図1に矢印で示す方向から打ち込んだ。実験時のコンクリートの平均最大圧縮強度は280kgf/cm²、平均割裂引張強度は22.7kgf/cm²であった。加力装置を図2に示す。加力は試験体の両端部の回転を拘束することにより、試験体に引張力のみ作用させた。載荷は一方方向の繰り返しとし、載荷履歴は、主筋の応力度が2.0、3.0、4.0tf/cm²で各3回づつ繰り返した。変位の測定は、試験体の全体ひずみを4面で合計6箇所、主筋の抜け出し量を主筋上下で合計8箇所の位置で、高感度変位計により測定した。

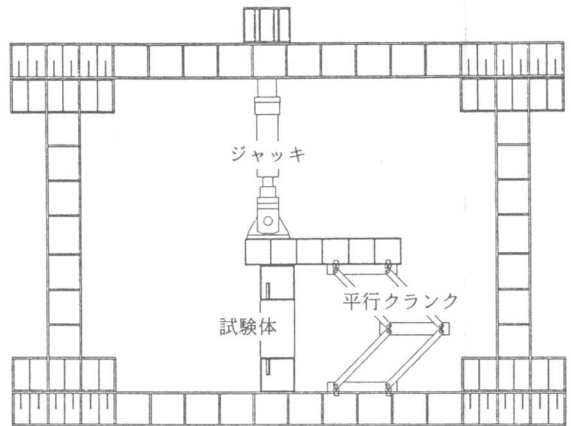


図2 加力装置

表2 実験結果一覧

試験体 No.	実験値		計算値*	実験値	破壊モード
	最大耐力時 の変位(mm)	最大耐力 (tf)	付着耐力 (tf)	計算値*	
1	2.6	24.1	27.8	0.87	付着割裂
2	3.6	30.0	32.4	0.93	付着割裂
3	5.0	39.9	41.8	0.95	付着割裂

* 文献2)による

2.2 実験結果

実験結果の一覧を表2に、荷重と変位の間を包絡線で図3にそれぞれ示す。破壊状況は、横補強筋量に関係なく共通で、まず継ぎ手主筋端部に引張ひび割れがはいる。その後、試験体側面に主筋に沿って全割裂ひび割れと低面の継ぎ手を伝達する主筋の間に付着せん断ひび割れがはいる。これらのひび割れが進展し、全割裂ひび割れが継ぎ手長さ全区間を貫くと同時に耐力を失った。破壊モードはすべて付着割裂破壊であり、最大耐力は、横補強筋量の多いものほど大きかった。各試験体の荷重と変位の関係は、最大耐力に達するまで等しかった。表2に文献

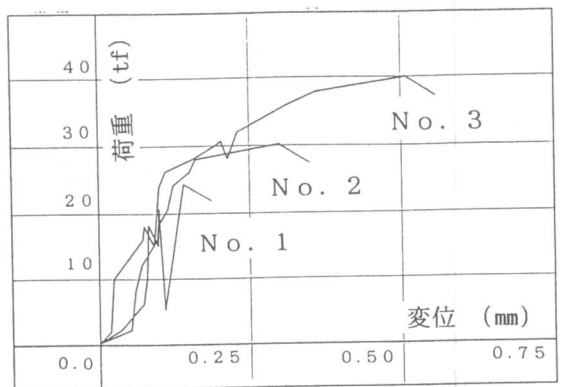


図3 荷重-変位関係

1)による付着割裂計算値と実験値の比較を示した。横補強筋量の多いほど実験値と計算値はよく一致しており、pw=0.95%のNo.3で計算値と実験値の比は0.95であり、pw=0.24%のNo.1の値は0.87であった。重ね継ぎ手のように継ぎ手主筋の付着応力によって主筋間のコンクリートにせん断応力を生じる場合においても文献1)による付着耐力式は、実験値をよくとらえていた。

3. 解析

3.1 解析概要

実験の試験体を基本的なモデルとし解析を行った。解析には、平面応力2次元有限要素法を用いた。コンクリート、主筋は四角形平面要素、横補強筋は線材要素とした。コンクリートは弾性のままとし、コンクリートの厚みは、かぶり厚さの2倍とした。鉄筋の応力とひずみの関係は、塑性を考慮して bi-linear とした。

コンクリート間のひびわれは、バネ要素であるクラックリンクを用いて表した。クラックリンク

は、ひび割れと直交方向と平行方向のバネの負担力をそれぞれの負担面積で除した応力を合成した時の最大主応力が、コンクリートの割裂引張強度を越えたとき、応力を解放するようにした。応力解放時には、クラックリンクの両方向のバネの剛性をほぼ0とし、それまで保持していた応力は再配分させた。クラックリンクのひび割れと直行方向の相対変位が0となった時ひび割れが閉じるものとして、引張強度を0のまま剛性を復活させた。

鉄筋とコンクリートの付着は、バネ要素であるボンドリンクを用いて表した。ボンドリンクの付着応力とすべりの関係を図4に示す。付着応力とすべりの関係は既往の研究²⁾により tri-linear とした。外力は、強制変位で与えた。

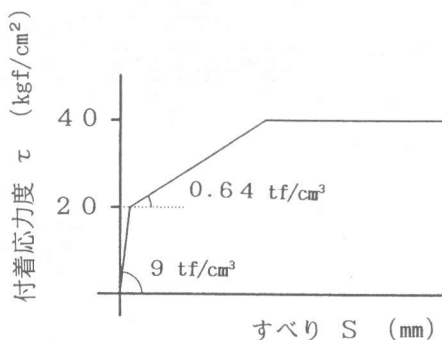


図4 付着応力度—すべり関係

3.1 解析モデル

重ね継ぎ手の主筋の応力は、付着力により主筋の周りのコンクリートを介して相互に伝達される。継ぎ手主筋の応力を十分に伝えるためには、鉄筋とコンクリートの付着耐力とともに継ぎ手主筋間のコンクリートの割裂耐力が問題となる。付着伝達に有効なコンクリート幅が、継ぎ手耐力に及ぼす影響を明らかにすることを目的として解析モデルを設定した。各モデルの要素分割およびクラックリンク・ボンドリンクの位置を図5に示す。T11は図1に示した実験の試験体No. 3をモデル化したものである。実験の試験体は主筋と平行な中心軸に対して対称であることより、対称軸に対して部材の半分で解析した。T12は継ぎ手主筋間のコンクリートの区間(図5・区間A)をT11より狭くしたものである。T11の場合、継ぎ手主筋の応力伝達によるコンクリートのせん断応力は、継ぎ手内部のコンクリート間で均一でなく、区間Aが最も大きいと考えられる。T11と同じ梁幅でも、主筋の配置を交互にすることによって、T11の区間Aのみならず、継ぎ手主筋の間の応力をコンクリートで均一分散でき、継ぎ手耐力としては有利になると考えられる。このことを解析的に調べるためモデルT21を設定した。しかし、モデル21では主筋の配置が対称でないため、局部的なねじれ破壊を生じた。この主筋の非対称性によるねじれを解消するために、モデルT22は継ぎ手主筋の内側のコンクリートの区間のせん断応力を均一としたうえで、主筋の配置を対称にしたものである。

3.2 応力度と変位の関係

実験と解析による応力度と変位の関係を図6に示す。解析の初期剛性はすべて、実験のものを大きく下回った。これは、本解析では、コンクリートの要素厚を主筋のかぶりの2倍(11.2cm)

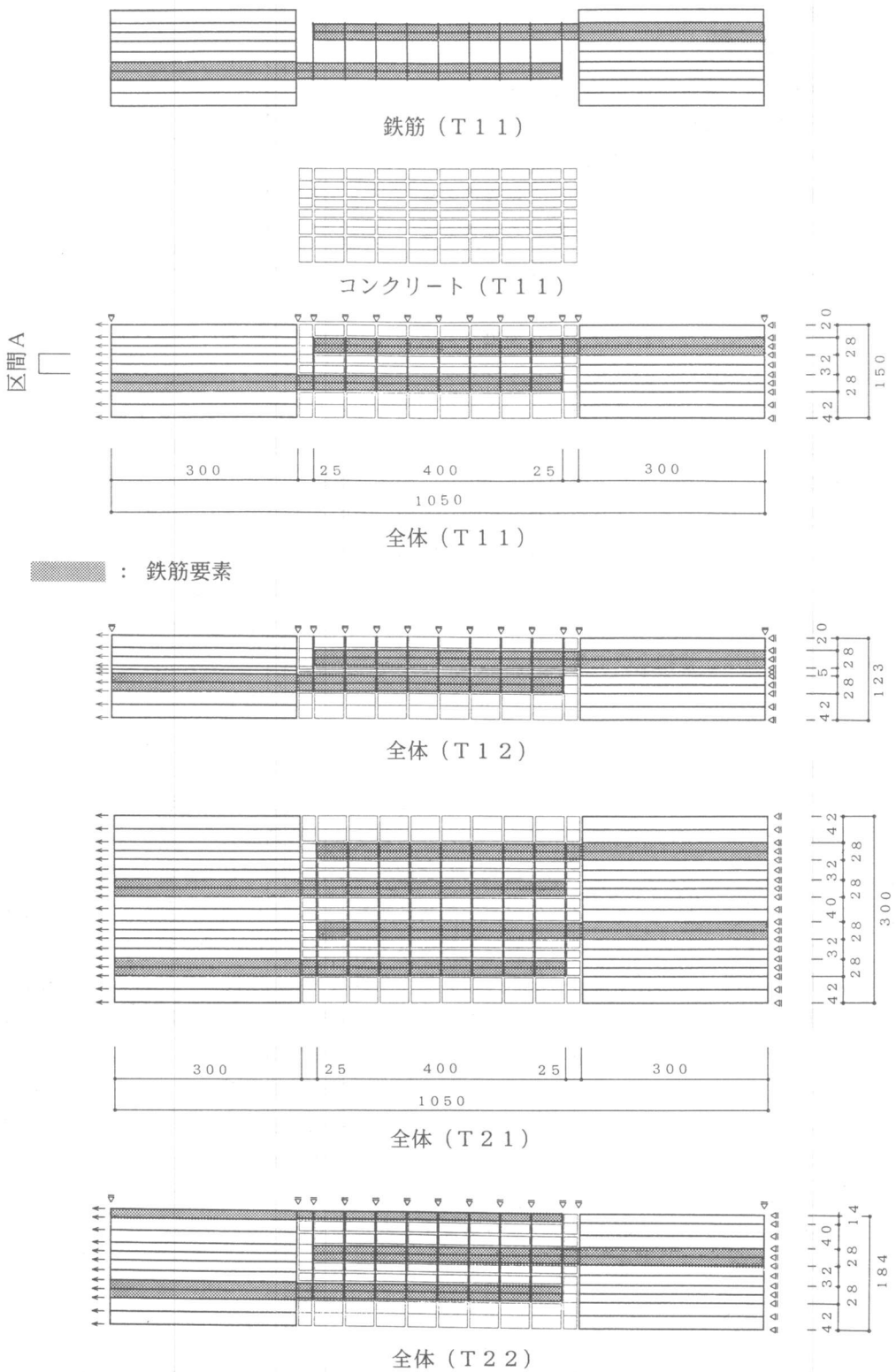


図5 解析モデル一覧

としたことと、実験の引張ひび割れは部材断面を貫通せず主筋近傍でその進展が止まったのに対し、解析では引張ひび割れが発生すると全断面で開いたことによる。しかし、解析モデルT11は実験の破壊状況をよくとらえており、引張ひび割れが開いても耐力を保持しており、最終的にはボンドリンクが切れ、主筋が抜け出し急激に耐力を失った。T11とT12を比較すると、両者の最大耐力はほぼ等しい。しかし、変位0.7mm以降、T12の剛性低下が著しい。これは、継ぎ手の主筋間隔を狭くしたことによって、引張ひび割れが早く発生しその後の応力の再配分で、急激にひび割れが進展することによる。T22の剛性は、他の解析モデルのものよりも大きくなっている。これは、T22の主筋量が多いことと幅が他のモデルよりも大きいため引張力に対するひび割れ耐力が大きいためである。なお、T21の最大耐力は、配筋の非対称性により主筋端部に応力が集中したことにより、T11の1/2程度であった。

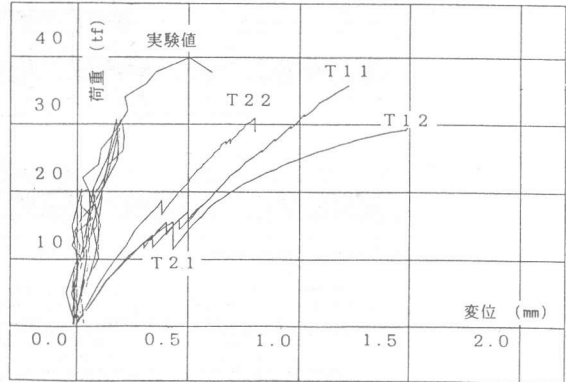


図6 荷重-変位関係

3.3 主応力度分布と変位図

解析の最終ステップにおける主応力度分布を図7に、変位図を図8にそれぞれ示す。T21をのぞく各モデルは、鉄筋とコンクリートの境界のボンドリンクが切れることによって主筋が抜け出し、終局に至った。継ぎ手主筋の応力伝達によるせん断応力に対して最もきびしい条件であるT12においても、継ぎ手主筋間のコンクリートのせん断すべりではなくて、主筋とコンクリートの付着すべりによって最大耐力は定まっている。梁幅が制限される場合、重ね継ぎ手の主筋間

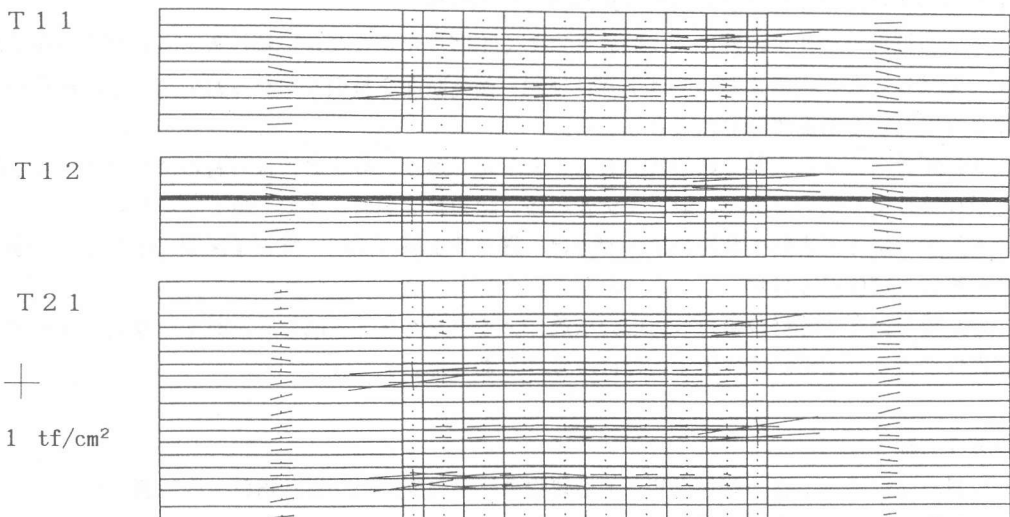


図7 主応力度分布 (最終ステップ)

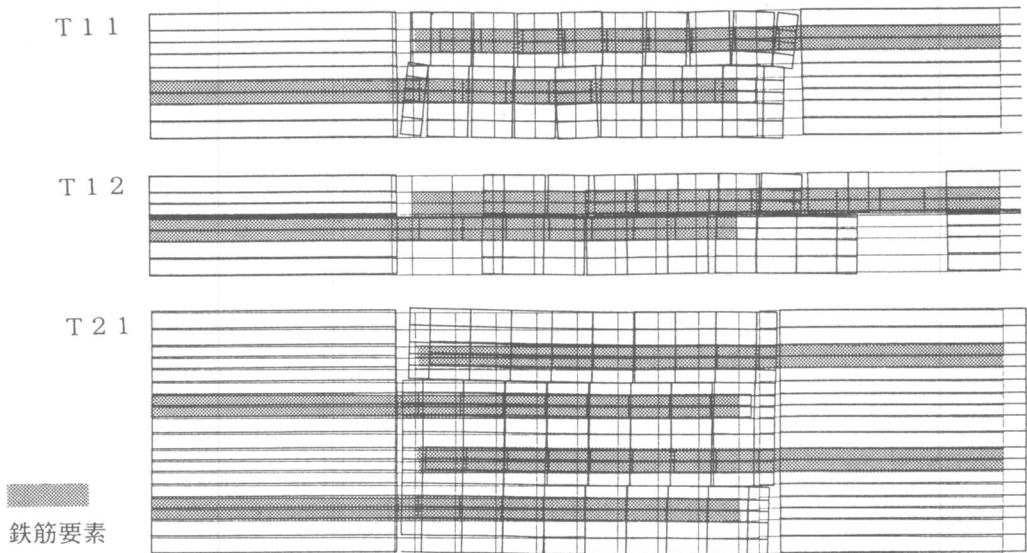


図8 変位図（最終ステップ）

隔は、隙間なく配筋せざるを得ない。このような場合は、主筋応力の伝達を媒介するコンクリートにはかなり厳しい条件であり、応力の集中を考慮すれば継ぎ手主筋間隔を有する部材耐力に対して低減して設計されるべきである。しかし、本解析モデルのT11とT22の耐力に差がなく、両者とも継ぎ手主筋間のコンクリートのせん断すべりによって最大耐力が定まらなかったことにより、文献1)に提案されている付着割裂耐力式のように割裂有効幅を平均的にとらえる設計法を、重ね継ぎ手部材の設計に準用することが可能であると考えられる。

4. まとめ

1) 横補強筋量の多い試験体ほど最大耐力は大きかった。既往の付着割裂耐力式は、重ね継ぎ手耐力に及ぼす横補強筋の効果を過小評価している。

2) 各解析モデルの剛性は、実験値を大きく下回った。これは、解析モデルの要素厚が実験に比べて薄いこと、実験においては引張ひび割れが全断面を貫通しなかったのに対し、解析モデルはひび割れが全断面で開いたことによる。

3) 解析モデルは実験の破壊状況をよくとらえており、最終的には付着の消失によって主筋が急激に抜け出し耐力を失う。解析モデルの最大耐力は実験値とよく一致していた。

4) 重ね継ぎ手主筋の解析の最大耐力は、継ぎ手主筋の間隔や継ぎ手区間に生じるせん断応力の割合に関係なくほぼ一定であった。

5) 重ね継ぎ手部材の耐力は、応力伝達によるコンクリート間のせん断すべりではなく付着力の喪失によって主筋が抜け出すことによって定まった。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 林静雄、森本敏幸、黒正清治：柱はり接合部内に通し配筋されたはり主筋の付着性状に関する実験と解析、日本建築学会構造系論文報告集、357号、PP101-111、1985.1