

図-3からその断面を知ることができる。供試体記号は下記のように決められている。また、コンクリートの打設は供試鉄筋が水平上端筋となる状態で行ったものが32体あり、水平下端筋となるものはC鉄筋についてのみ4本ある。

載荷履歴 ……片側のジャッキで鉄筋端に引張力を与え、そのまま破壊に至らせる単調載荷(M)と、一端より引張力を与えて除荷した後、他端より引張力を与えると云う手順を繰り返す交番載荷(R)とがある。交番載荷には定荷重振幅の場合と、定すべり振幅の場合がある。

計測事項 ……引張荷重の合力はジャッキヘッドに取付けたロードセルで正確に計測できる。各鉄筋の分担力は鉄筋端に貼った抵抗線ひずみゲージの出力から比例配分により算出した。一方の鉄筋端におけるコンクリートからの相対滑りを、供試体底面より10cmのレベルからの相対量として、供試体当り一本の鉄筋を代表を選んで測定した。滑りの測定は非接触型光学の変位計(オプトフォロー)によったので、かなり正確に測定できる。

使用材料 ……鉄筋(A)~(D)の降伏点はそれぞれ3161, 3880, 3930, 3826 kgf/cm²で、スターラップ用φ9, φ13の降伏点は3495, 3472 kgf/cm²であった。コンクリートはW/C=6.2%, 277:908:918 kg/m³, スランプ15cmで、試験材合での圧縮強度は172~227 kgf/cm²の範囲であった。

実験結果の検討

破壊モード ……典型的な割裂きパターンを図-4に示す。鉄筋3本以上でスターラップのないA3・00, A4・00タイプの供試体では図-4のように供試鉄筋レベルを外れて、補強筋レベルで破壊したので、付着破壊とは処理し難いが、供試鉄筋レベルで割裂き破壊したC・4・00・3Mのデータと比較して、付着破壊に近い荷重を示していると解釈し、以後の整理では付着破壊として取扱う。図-4は単純化して表現してあるが、実際の供試体に生じた表面ひびわれは、図-5に例示するように、かなり複雑なパターンを示す。鉄筋配置とスターラップの形状により、割裂きパターンが微妙に変化するこ

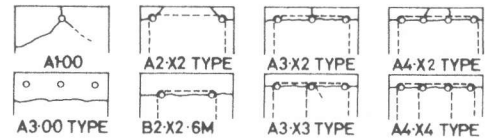
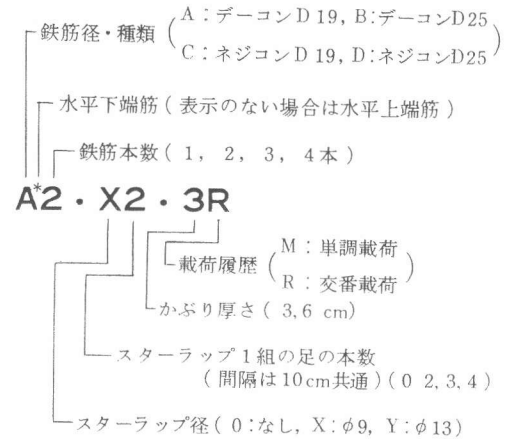
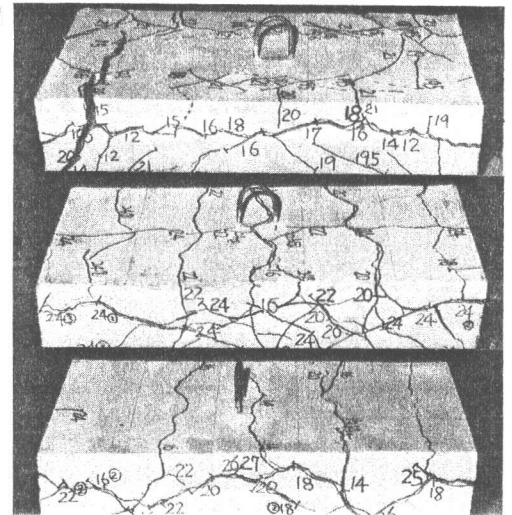


図-4 滑動許容割裂きパターン



(上: A2・X2・3R, 中: A3・X2・3R, 下: A3・X3・3R)

図-5 供試体の表面ひびわれ

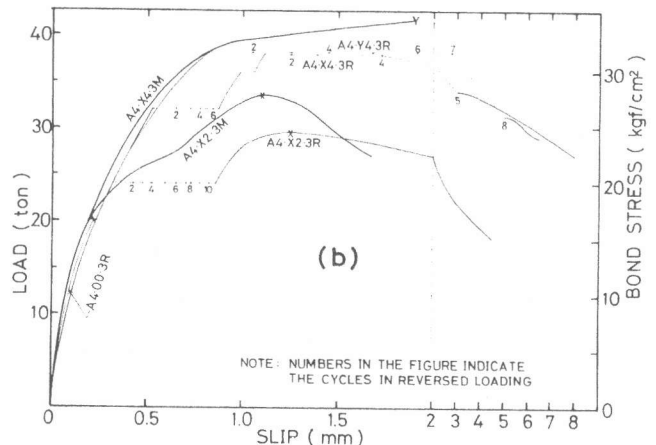
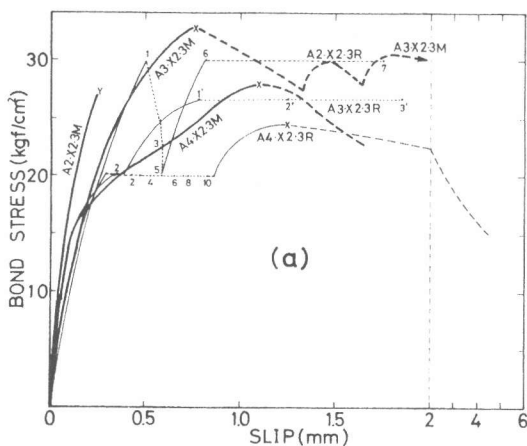


図-6 平均付着応力-載荷端すべり曲線

とが理解される。

平均付着応力-載荷端すべり曲線 (τ_m - S_L 曲線) …… 図-6 (a) は X 2 スターラップ配置に対し、軸方向筋の本数が増加した場合の τ_m - S_L 曲線の変化を示している。A2・X2・3M が鉄筋降伏を呈しているのが判然とはしないが、同一のスターラップ配置に対して、主筋本数が増すほど、最大付着応力、それを与える滑り量とも減少する傾向がある。図-6 (b) は A 4 タイプの供試体について、横補強を変化させた場合の影響を示している。横補強を増すほど、耐力、滑り能力ともに増加するが、横補強量の効果には限界があることが判る。図-6 (a), (b) より、交番載荷の影響は付着耐力の低下に対して顕著であるが、最大付着応力を与える滑り量には鈍感であることが判る。図-7 は交番載荷時の τ_m - S_L 曲線の例を示したものである。正載荷時には載荷端滑りであるが、負載荷時(他端からの加力)には自由端滑りに相当する。交番荷重下では正負にほぼ等量の滑り量を経験しながら疲労破壊に至る。また、鉄筋の弾性範囲では同一荷重時の載荷端滑りと自由端滑りととの差は 0.5 mm 以内であるから、大きい滑り能力を発揮する供試体では、鉄筋の埋込み長さ全域にわたって、ほぼ同等の滑りを経験している。図-8 は降伏以前に付着破壊した供試体に限り、横補強量と滑り能力の関係をプロットした図である。(図-8 の縦軸は 1 組のスターラップの断面積 A_{st} をスターラップ間隔 S 、主筋本数 N 、主筋径 d_b で除した比)

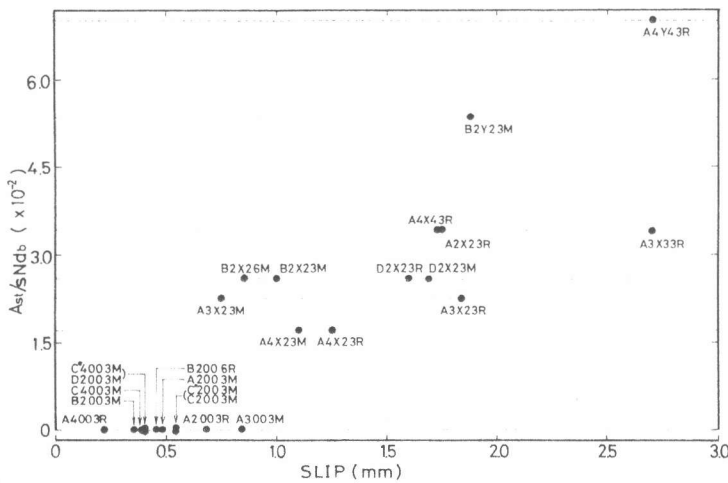
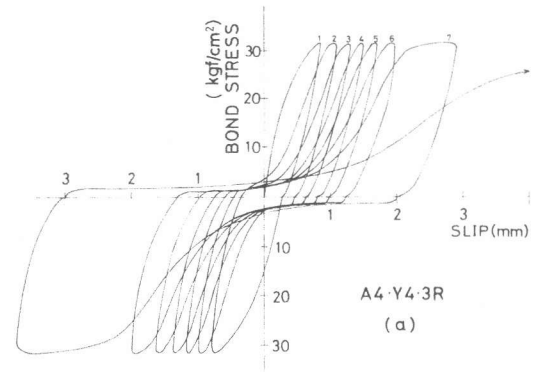
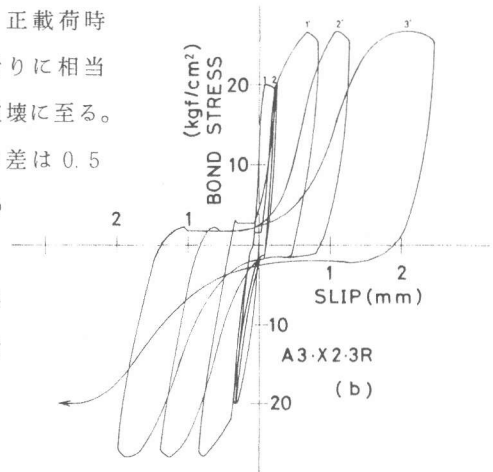


図-7 交番載荷時の τ - S 曲線

図-8 横補強による滑り能力の増大

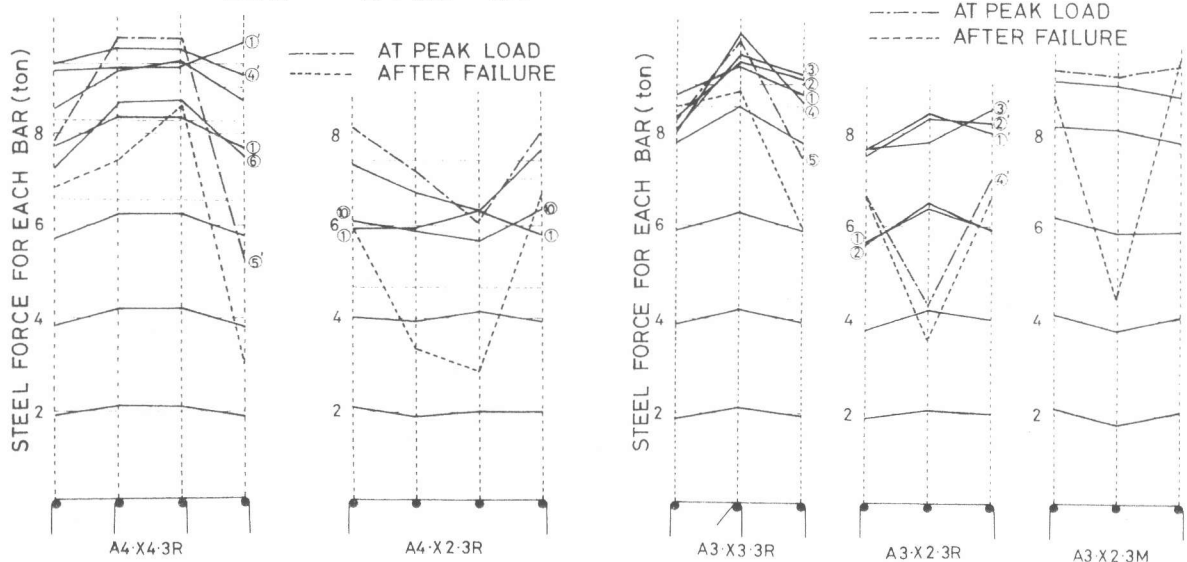


図-9 各鉄筋の引張力分担の推移

横補強の増強に伴って最大耐力を保つ滑りの限界は著しく増大するが、特に全ての鉄筋に直接スターラップがかかる場合に滑り能力が大きいことが特筆される。データ不足ながら、交番荷重の著しい部材では $A_{st}/SNd_b \geq 1.5 \times 10^{-2}$ 程度が下限と思われる。

横補強法と主筋引張力分担 …… 図-9はA3タイプとA4タイプの供試体について、スターラップの配置の差によって主筋相互間の引張力分担に明確な特徴があることがわかる。A3・X2, A4・X2タイプのようにスターラップの辺の途中に配置された主筋は、最大耐力後、引張力分担が急激に減少するのに対し、中間筋にも直接スターラップ

をかけたA3・X3, A4・X4タイプでは、むしろ中間筋の引張力分担がコーナー筋より大きくなっている。この結果より、同一の横補強の程度 (A_{st}/SNd_b) でも中間筋が多数並ぶ場合は、効果が悪くなることがわかる。

横補強量と付着強度 …… 図-10は A_{st}/SNd_b で表わした横補強量と付着強度の関係をプロットした図である。ただし図-10ではコンクリート強度のばらつきを除外する為、圧縮強度 F_c の平方根に付着強度が比例するとして、全ての実験データを $F_c = 200 \text{ kgf/cm}^2$ に換算してある。図-10に引用した Untrauer 等の実験¹⁾の結果も同様に換算してある。この実験は、D16の長方形型スターラップを間隔13cmに配置した梁供試体による実験結果で、梁幅31.5, 45.7, 61cmのそれぞれにD29の主筋(上端筋)を2~7本の範囲で並べた影響を調べたものである。図-10は A_{st}/SNd_b の尺度が、補強効果をあらわす変数として限界があることを表わしていると見ることができる。即ち、横補強筋量と同じ場合その配置による差を表現できないところに限界がある。図-10には、Jirsa 等の付着強度提案式²⁾も併記してある。この提案式は下端筋に対するものであるから本研究のデータと対立するものではない。特に横補強量の効果を表現する直線の勾配についてはかなり一致する。

鉄筋間隔と付着強度 …… 図-11は主筋1本あたりの平均梁幅と付着強度の関係を示す。 $b/Nd_b < 4$ では要注意で有効な横補強がないと低い付着強度となる。図-11で隅角部のみ割裂けるA2, B2タイプの結果をこの横軸で表現するのは不適當であろう。図中の式は主筋列に沿う割裂きを想定している。³⁾ [本研究は、昭52.53年度科研費(B)による]

図-11は主筋1本あたりの平均梁幅と付着強度の関係を示す。 $b/Nd_b < 4$ では要注意で有効な横補強がないと低い付着強度となる。図-11で隅角部のみ割裂けるA2, B2タイプの結果をこの横軸で表現するのは不適當であろう。図中の式は主筋列に沿う割裂きを想定している。³⁾ [本研究は、昭52.53年度科研費(B)による]

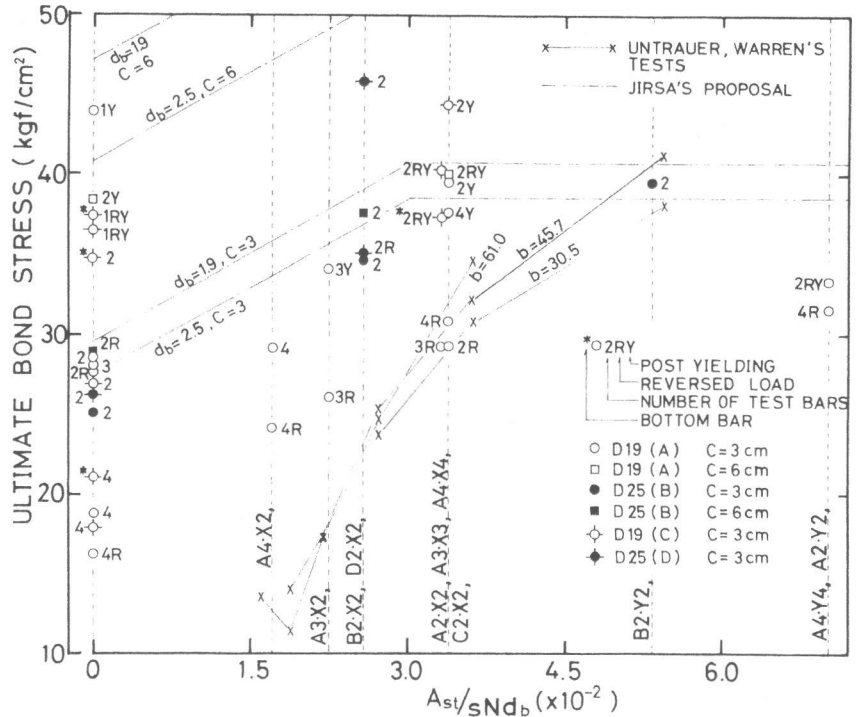


図-10 横補強量と付着強度

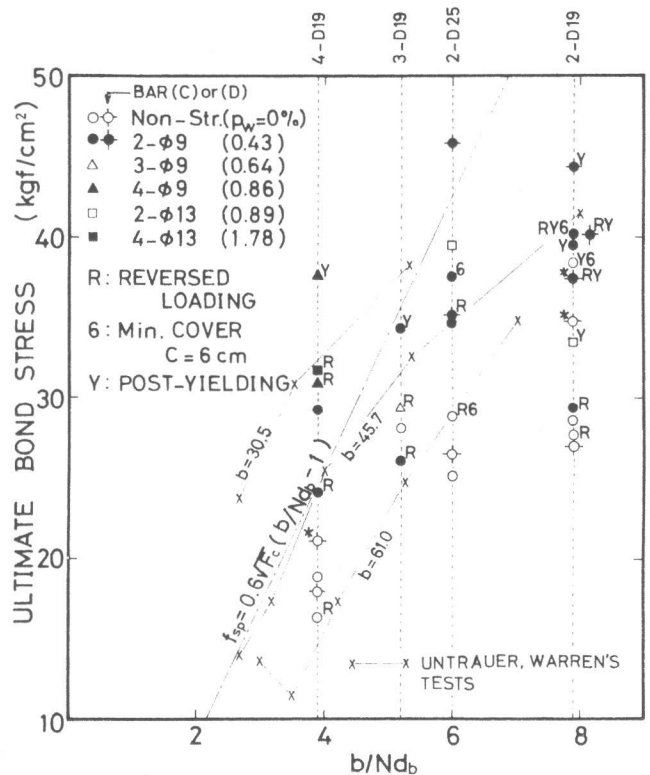


図-11 鉄筋間隔と付着強度

1) Untrauer, R. E., et al., ACI Jour., Aug., 1977 2) Jirsa, J. O., et al., ACI Jour., Mar., 1977 3) 建築学会, 地震荷重と建築構造の耐震性, 1976