

鉄筋コンクリート片持ち梁における多段配筋および打継が復元力特性に与える影響

北海道大学 正会員 博士(工学) ○西村 康志郎

Abstract : It is important to estimate stiffness of R/C beams accurate enough. However, studies on influence of multi-layered longitudinal bars and construction joints are limited. It is necessary to make clear those influences in view of the development in the design methods in these days. In this study, the influences of the construction joints and multi-layered longitudinal bars upon flexural strength, stiffness, cracks and damages were examine. R/C cantilever specimens were subjected to cyclic lateral loads. Parameters in this experiment were arrangement of longitudinal bars, place of the construction joints, and condition of joint surfaces. As results, the construction joint degraded initial cracking strengths, but there were no remarkable difference in yield strength and stiffness between with and without the joints. And then, an estimation method for the stiffness up to flexural yielding was shown, which was based on the test results.

Key words : R/C cantilever beam , multi-layered longitudinal bars , construction joint

1. はじめに

地震動を受ける建物の挙動を予測する上で、構造物や構造部材の剛性を十分な精度で評価することが必要であり、これまで様々な研究が行われてきた。曲げとせん断力を受ける鉄筋コンクリート(RC)梁部材についても、多くの実験研究を基に、初期ひび割れ点と降伏点を有するトリリニアード復元力特性をモデル化する方法が提案されている。しかし、これらの実験研究は1段配筋の試験体を対象にしたものが多く、多段配筋や打継を有するRC梁試験体の実験成果は十分とは言えない。多段配筋の梁の剛性評価においても、等価な1段配筋に置換する方法などが採られており、十分にその影響が反映されているとは言いがたい。本研究は、RC片持ち梁試験体を用いて繰り返し加力実験(軸力なし)を行い、多段配筋および打継が梁の初期剛性、初期ひび割れ強度、降伏強度、降伏点割線剛性に与える影響、および、その剛性評価方法について検討したものである。

2. 実験計画

表-1に試験体リストおよびコンクリートの材料特性、表-2に使用した鉄筋の材料特性、図-1に試験体図を示す。コンクリートは、水セメント比65%で、粗骨材の最大粒径は10mmである。

表-1 試験体リストおよびコンクリートの材料特性

試験体名	主筋 (ρ_g : 全断面に対する主筋比)	打継 (図2参照)	コンクリート		
			圧縮強度 [N/mm ²]	割裂引張強度 [N/mm ²]	1/3割線弾性係数 [N/mm ²]
B-D6-1	4-D6, 4-D6: (0.78 %)	無	39	3.0	26 x 10 ³
B-D6-2	4-D6, 4-D6: 2段配筋: (0.78 %)				
B-D10-1	4-D10, 4-D10: (1.8 %)				
B-D10-2	4-D10, 4-D10: 2段配筋: (1.8 %)				
B-D10-3	4-D10, 2-D10, 4-D10: (2.2 %)				
B-D10-4	4-D10, 4-D10: (1.8 %)				
B-D10-5		打継②	36(2回目)	3.3(2回目)	27 x 10 ³ (2回目)
B-D10-6		打継③			

表-2 異形鉄筋の材料特性

	D4	D6	D10
公称直径 [mm]	4	6	10
公称断面積 [mm ²]	14.05	31.67	71.33
降伏応力 [N/mm ²]	359*	448	351
引張強度 [N/mm ²]	533	617	497
ヤング係数 [kN/mm ²]	184	204	190

*: 0.2%オフセット法

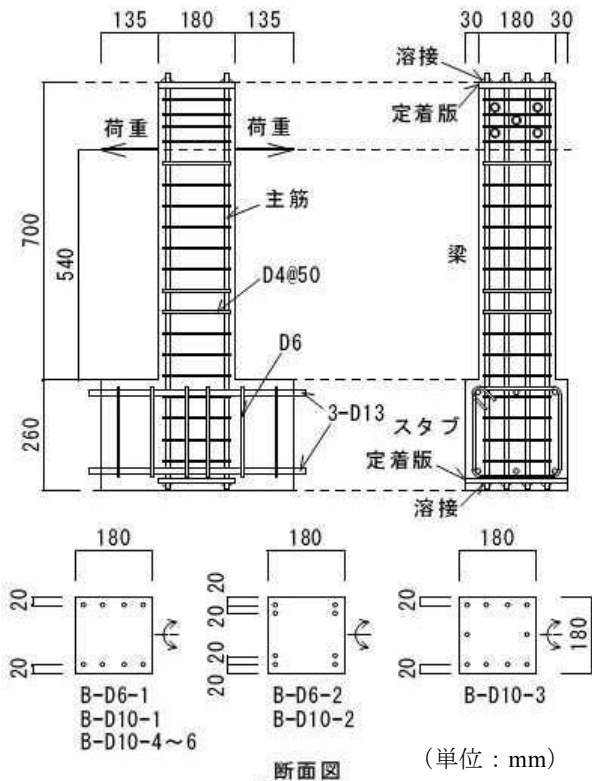


図-1 試験体図

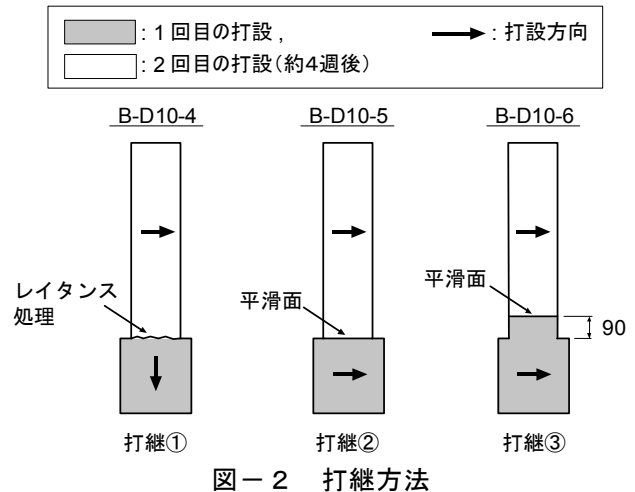


図-2 打継方法

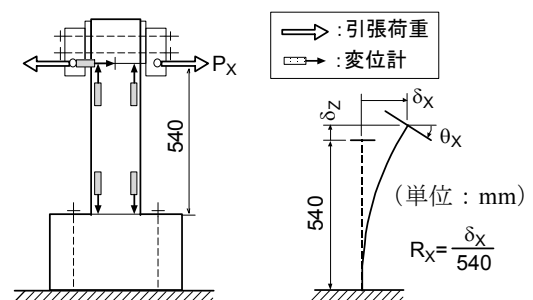


図-3 加力および変位測定方法

試験体は8体で、パラメータは、主筋の種類、配筋の段数、打継の有無および打継方法である。主筋には異形鉄筋D6とD10を使用した。主筋の両端は鋼板に溶接されている。配筋の段数は、図-1に示すように、1段配筋、2段配筋、1段配筋に梁成中央に2本配筋した3種類である。打継を有する試験体の配筋は全てD10の1段配筋である。打継方法は、図-2に示す3つの方法とした。打継①では、打設翌日にワイヤブラシでレイタンス処理を施した。打継②と③の平滑面は木製型枠に接触していた面であり、型枠脱型後そのまま2回目の打設を行った。型枠の脱型は、1回目と2回目ともに1週間後で、2回目の打設は1回目の打設の約4週後である。脱型まではラッピングフィルムで打設面を密閉し、脱型後は室内で気中養生した。

図-3は加力方法と変位測定方法を示したものである。加力は、両側から引張荷重を作用させることで繰り返し変位を与えた。変位は、加力点の変位、加力点の鉛直変位、加力位置および梁端部スタブ面の回転角を変位計で測定した。以下、部材角 R_x 、鉛直変位 δ_z 、自由端回転角 θ_x を図-3のように定義する。 R_x は加力点の変位 δ_x を初期せん断スパン540mmで除したものであり、 θ_x は加力位置の回転角から梁端部スタブ面の回転角を差し引いたものである。

3. 実験結果および考察

3. 1 実験結果の概要

図-4にD10を1段配筋した試験体B-D10-1の実験結果を示す。左が荷重一部材角曲線で、右が鉛直変位一部材角曲線で、鉛直変位は上方に伸びる方向を正としている。図より、梁は曲げ降伏し、その後、繰り返し変位によって鉛直変位が引張側に伸びていることが分かる。荷重一部材角曲線では、比較的エネルギー消費の大きいループを描いており、これは主筋がエネルギー消費に寄与していることが原因と考えられる。つまり、試験体の鉛直変位の拘束がなく、主筋は自由端で鋼板によって定着されており、鉄筋とコンクリート間の付着に対しても余裕があったため、除荷から逆方向荷重で降伏するまでは、梁固定端では主に主筋で応力を負担していたものと考えられる。このように、繰り返し変位で材軸方向へ伸び、面積の大きなループを描く傾向は全ての試験体で見られた。

3. 2 多段配筋による影響

図-5に、1段配筋の試験体B-D10-1と2段配筋の試験体B-D10-2の実験結果を比較したものを示す。2段配筋の試験体は1段配筋の試験体に比較して、降伏変位がやや大きい、正側の降伏強度はほぼ等しい、負側の降伏強度はやや低いことが分かる。正側加力の荷重-変位曲線については、2段配筋の試験体では2段目の鉄筋の降伏によって梁部材の降伏が生じたと考えられる。また、負側の降伏強度が2段配筋の試験体でやや小さいのは、繰り返し変位によって梁が材軸方向に伸び、コンクリートが応力をほとんど負担せず、断面内の応力中心距離が小さくなったためと考えられる。一般的なかぶり厚の1段配筋の試験体では、材軸方向で伸びてコンクリートの負担応力が小さくなくても、加力の正負方向で断面内の応力中心距離はあまり変わらない。以上の傾向は、主筋にD6を用いた試験体でも同様であった。

図-6に示すように、1段配筋の試験体B-D10-1と梁成中央にも主筋を有するB-D10-3の結果を比較すると、降伏変位はほぼ同じであるが、降伏耐力には梁成中央の主筋応力が寄与していることが分かる。また、B-D10-3では部材の降伏後も荷重が上昇している。つまり、B-D10-3では、1段目の主筋の降伏によって部材の降伏が生じるが、梁成中央の主筋の降伏まで荷重が上昇したと考えられる。

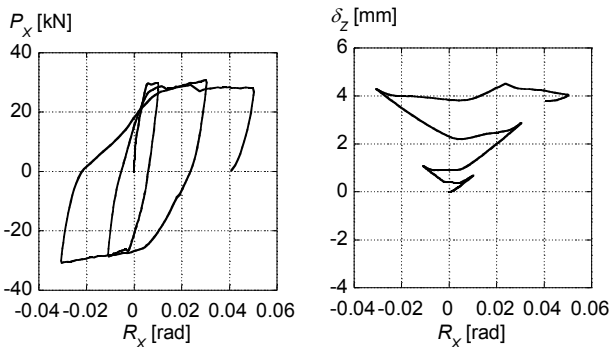


図-4 実験結果 (B-D10-1)

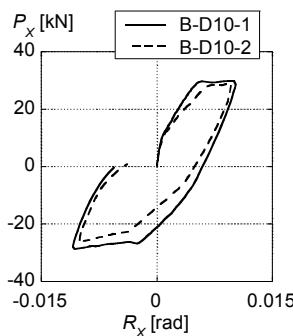


図-5 1段配筋と2段配筋

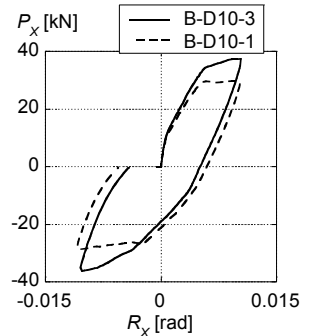


図-6 梁成中央鉄筋

3. 3 打継による影響

図-7は、打継の無いB-D10-1と打継のあるB-D10-4の実験結果を比較したものである。2つの結果はほぼ等しいが、打継の無い試験体のほうは、初期剛性と降伏耐力が若干大きい。梁端部の曲げひび割れは、図-8に示すように打継のある試験体では打継に沿って生じるが、端部に打継の無い試験体ではスタブに入り込むように生じる。つまり、打継の有無による曲げひび割れの生じ方の違いで、コンクリート断面の引張側応力が異なると考えられる。

図-9に打継①②③の試験体3体の結果を比較したものを示す。打継①と打継②の結果はほぼ等しい。打継③の試験体は、他の2つの打継方法の試験体に比べて、正側の加力では降伏耐力が若干大きく、負側の加力では打継面の損傷により耐力がかなり低くなった。正側の加力での降伏耐力の差異は、梁端部のコンクリートの引張側応力によるものと考えられる。これは、前述のように、梁端部の曲げひび割れの生じ方の違いにより、コンクリートの引張側応力が異なるためと考えられる。

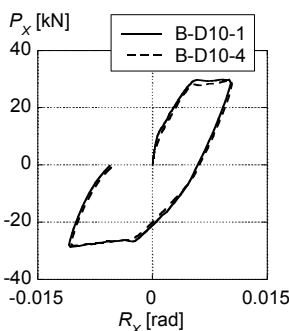


図-7 打継の有無

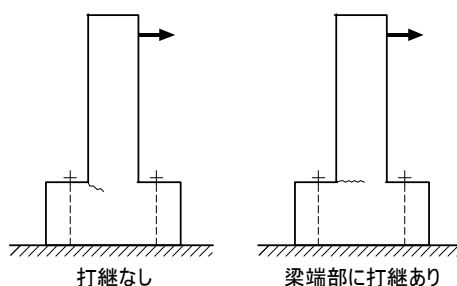


図-8 梁端部のひび割れ

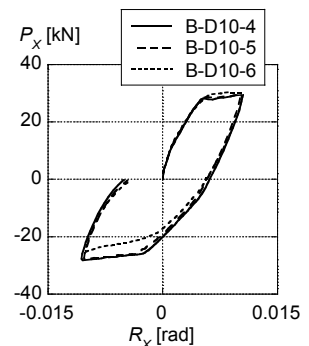


図-9 打継方法の違い

4. トリリニアモデルとの比較

RC規準¹⁾では、RC梁部材の復元力特性を、初期ひび割れ点と降伏点を有するトリリニアでモデル化する方法が記されている。本論文では、初期剛性では主筋とせん断変形を考慮し、表-1のコンクリートの1/3割線弾性係数、表-2の鉄筋のヤング係数を用い、部材長さを図-3に示した540mmとして算出した。降伏耐力は材料を剛塑性体と仮定したときの累加強度とし、表-1のコンクリートの圧縮強度、表-2の鉄筋の降伏応力を用いて算出した。初期ひび割れモーメントはRC規準に記されている方法を用いた。図-10は初期剛性の実験値と計算値を比較したものである。縦軸と横軸は、初期ひび割れモーメント時の荷重、部材角、自由端回転角の計算値で無次元化している。図より荷重-部材角関係では打継によって剛性低下が見られるが、部材角-自由端回転角関係ではほとんど差が見られない。打継の影響は、梁固定端でのコンクリートの引張応力の差異として現れるものと考えられる。

降伏点割線剛性の算出方法もRC規準の方法を採用する。ただし、降伏点割線剛性は1段配筋を対象としているため、多段配筋の部材に適用するには工夫が必要である。多段配筋にすることで影響を受ける変数は、引張鉄筋比 p_t と有効成 d である。多段配筋の場合は、等価な1段配筋に置き換えて p_t と d を算出する方法などが採られるが、本論文では p_t と d の代わりに、図-11に示す p_{te} と d' を用いて降伏点割線剛性を算出した。 d' は、実験結果を考慮し、部材の降伏が生じたときに降伏したと考えられる鉄筋の位置とした。図-12に実験結果と計算結果の比較を示す。いずれも実験結果を良く評価できており、他の試験体についても同程度の精度で評価できた。この方法は1つの方法であり、汎用性については今後より多くの実験データを用いて確認する必要がある。

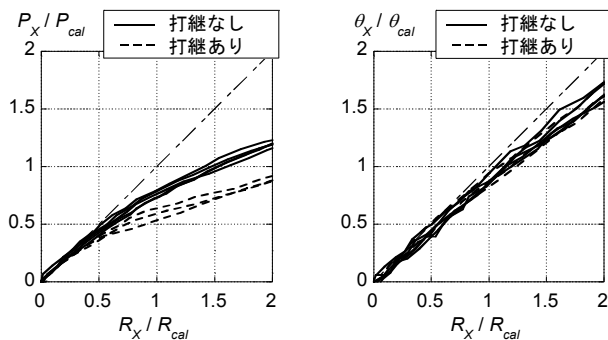


図-10 初期剛性の計算値と実験値

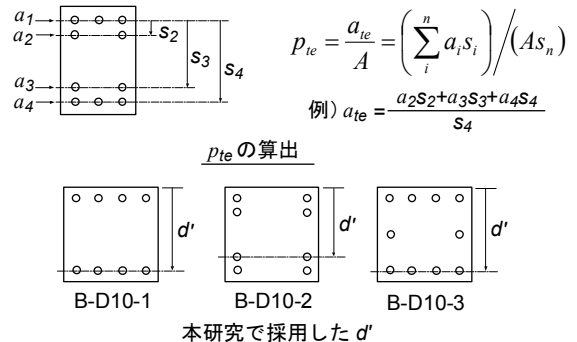


図-11 p_{te} と d' の算出方法

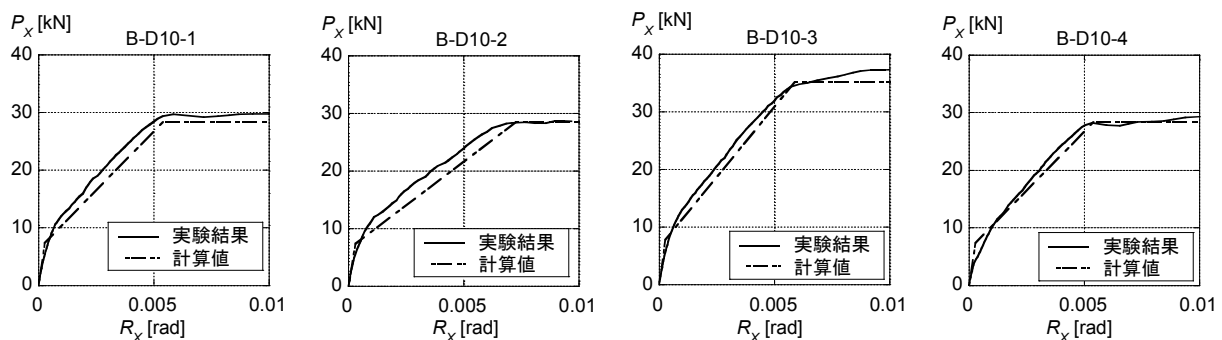


図-12 実験結果とトリリニアモデルの比較

5. まとめ

RC片持ち梁の繰り返し加力実験より、固定端での打継は初期剛性と降伏耐力を若干低下させるが復元力特性に大きな影響を与えないことを示した。多段配筋の復元力特性モデル化の一手法を示した。

参考文献

1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010