

部材途中に降伏位置を計画した基礎梁の構造性能実験

安藤建設技研 ○田畑 卓

1. はじめに

鉄骨柱の埋込み柱脚においては、埋込み部
周りでの柱鉄骨と基礎梁主筋との緩衝を避ける
方法として、図1のような基礎梁形式が考え
られる。

本報では、基礎梁の曲げ降伏を許容するに
あたって、基礎梁端の幅広な平行ハンチとク
リアスパン側の基礎梁との境界面(以下、切替
面)に曲げ降伏位置を計画するものとし、主筋
の付着・定着条件が基礎梁の曲げ性能に及ぼ
す影響を実験的に調べた。

2. 実験計画

表1に試験体一覧を、図2に試験体形状・配
筋例を示す。試験体は柱鉄骨面から基礎梁反
曲点位置までを想定した片持ち梁とし、全6
体を計画した。いずれの試験体も基礎梁の断
面寸法は $b \times D = 240 \times 540\text{mm}$ 、切替面から加力
点までの距離は1500 mmである。切替面での
曲げ降伏を先行させるために、主筋は梁端側
を12-D16(以降、ハンチ部主筋)、スパン側を
6-D16(以降、基礎梁主筋)とし、切替面に対
してスタブ面(加力スタブと平行ハンチの境界)
の曲げ降伏耐力を1.2倍確保した。また、切替

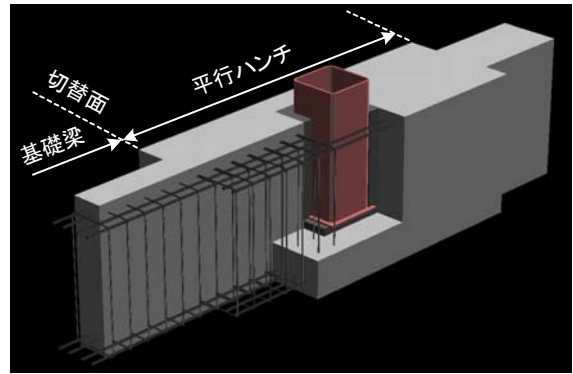


図1 埋込み柱脚工法

表1 試験体一覧

試験体	主筋間の あき寸法	ハンチ部寸法(mm)		基礎梁主筋定着	
		断面幅	長さ	定着長 ^{*1}	形式
1) 10-40R	10d _b	640	790	40d _b	折り曲げ
2) 10-30R			630	30d _b	
3) 10-55S			920	55d _b	直線
4) 10-45S	20d _b	960	760	45d _b	
5) 20-50R			950	50d _b	折り曲げ
6) 20-40R			790	40d _b	

^{*1} 折り曲げ定着の場合は2段目主筋の直線部長さを表す

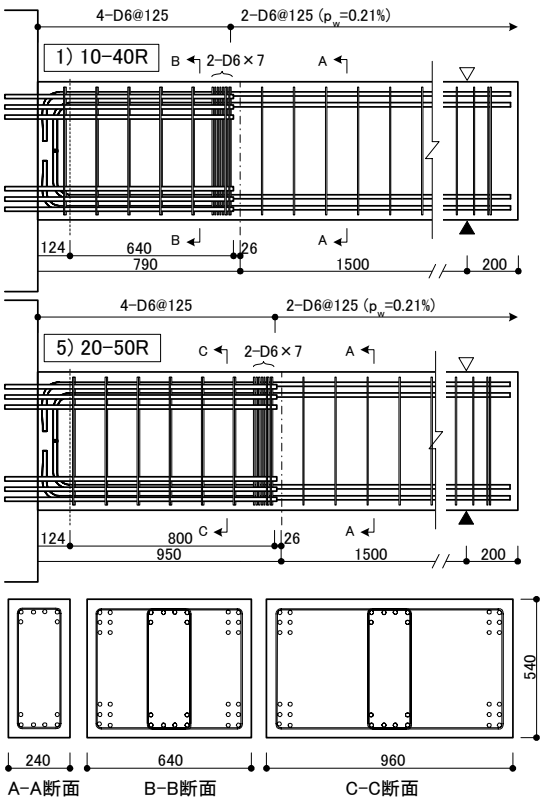


図2 試験体の形状および配筋例

面でのせん断伝達に配慮して、曲げ降伏時せん断力に相当するせん断補強筋を切替面近傍に集中的に配筋した。

変動因子は平行ハンチの幅寸法、主筋定着長さ、基礎梁主筋の定着形式である。平行ハンチの幅寸法は640mmと960mmの2水準とし

Experiment on the Foundation Beam Planed Bending Yield Section
at the Member Middle Part

Taku TABATA

た。基礎梁主筋の定着形式は直線定着と90°折り曲げ定着とし、ハンチ部主筋は全て直線定着とした。表2および表3に材料試験結果を示す。

加力に変位制御による正負交番繰り返し載荷とし、下端引張り時を正加力とした。

3. 実験結果

3.1 破壊経過および履歴性状

図3に各試験体の荷重(P)－変形角(R)関係、写真1に最終破壊状況例を示す。いずれの試験体も $R=\pm 1/1000\text{rad.}$ までに切替面とスタブ面に曲げひび割れが発生し、その後平行ハンチおよび基礎梁側面に斜めひび割れが発生した。 $R=1/150\sim 1/120\text{rad.}$ で、20-40Rの負加力時を除く全ての試験体で一般部主筋が降伏した。

主筋定着長さが短い10-30Rはその後まもなく荷重低下したが、10-40Rおよび10-45Sでは若干の荷重増加を生じた後、 $R=\pm 1/100\text{rad.}$ で最大耐力に至った。これらの試験体では、平行ハンチ側面を対角に結ぶ斜めひび割れと平行ハンチ上下面に発生した基礎梁主筋の定着に起因するコーン状のひび割れが支配的であ

った。主筋定着長さが長い10-55Sや20-50Rでは、平行ハンチ側面の斜めひび割れの発生が軽微であり、正加力時では最終加力まで安定した履歴性状を示した。なお、各試験体では正加力時に比べて負加力時の耐力・変形性能が劣る傾向がみられるが、これらは上端主筋に沿う沈降ひび割れが付着割裂ひび割れとして伸展したことが影響している。

表2 鉄筋材料試験結果

呼び名	材質	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	破断伸び (%)
D6	SD295A	368	514	187	15.8
D16	SD345	390	568	193	22.5

表3 コンクリート材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
1) 10-40R, 3) 10-55S, 5) 20-50R	24.1	24.2	2.06
2) 10-30R, 4) 10-45S, 6) 20-40R	26.1	25.2	—

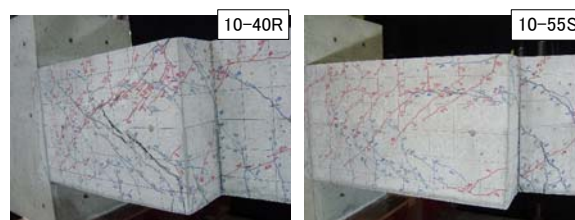


写真1 最終破壊状況

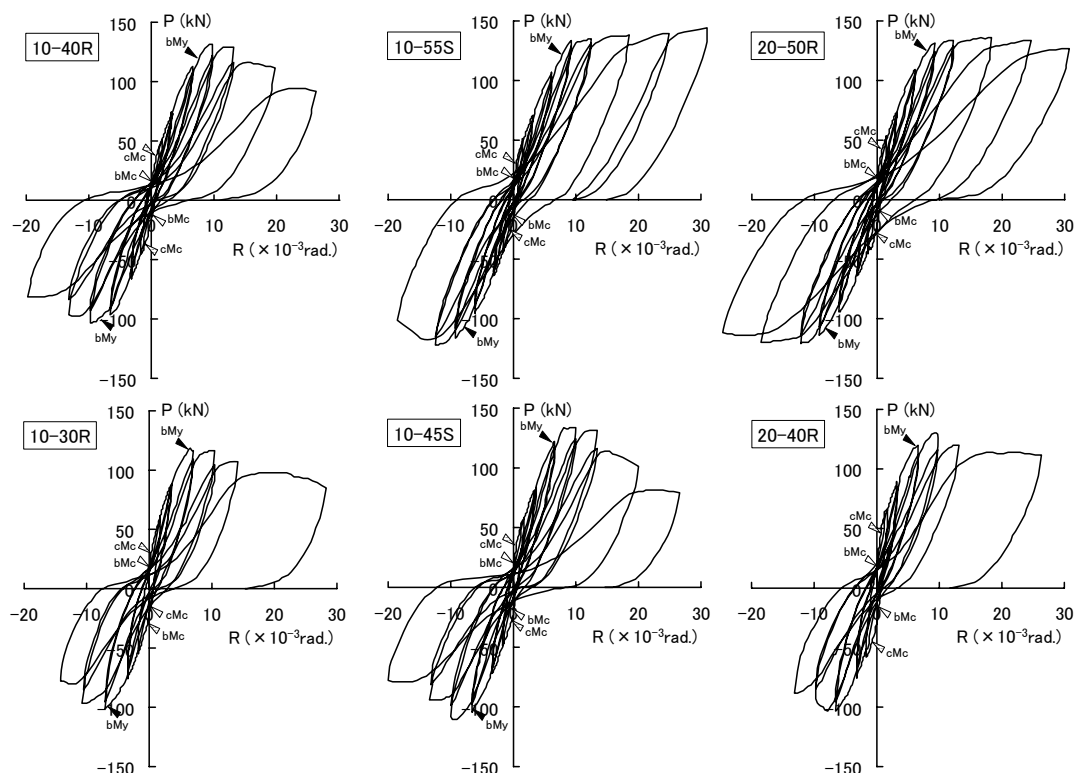


図3 荷重(P)－変形角(R)関係

3.2 主筋歪み性状

図4に正加力時の下端主筋の歪み分布を例示する。変形角の増大に伴う切替面近傍の基礎梁主筋の歪みの推移は各試験体ではほぼ同様である。 $R=1/100\text{rad.}$ では基礎梁主筋の降伏域が平行ハンチ内へ200mm程度伸展しており、最終加力まで荷重が増大し続けた10-55Sでは $R=1/32\text{rad.}$ で500mm程度伸展している。

最大耐力時では、基礎梁主筋の弾性範囲内における平均付着応力度は、折り曲げ定着の有無によらず、平行ハンチの幅寸法が640mmの試験体で $3.1\sim 3.3\text{N/mm}^2$ 、960mmの試験体で $2.6\sim 3.0\text{N/mm}^2$ であった。これらはRC規準[1]において主筋のあきや被りの影響を表す係数に上限値($C=5$)を適用して求めた直線定着の短期許容付着応力度とほぼ等しい。平行ハンチ内では基礎梁主筋の側面被り厚さが通常の梁より極端に大きく、このことが付着割裂強度を増大させたものと推測される。

一方、ハンチ部主筋は未降伏ながら、変形の増加に伴ってスタブ面側から歪み勾配が鈍化する傾向を示しており、せん断ひび割れの発生によってテンションシフトを生じた形となっている。最大耐力時ではハンチ部主筋の先端付近の歪み勾配は基礎梁主筋の弾性範囲内のそれと同程度にまで達した。

4. 付着性能の評価

実験結果を定量的に評価するため、各試験体の付着余裕度と実験で得られた切替面の限界回転角の関係を調べる。ここで、切替面の限界回転角は、当該M- θ 関係上の正加力時において、計算曲げ耐力の95%に耐力が低下した時点の回転角と定義する。

4.1 主筋応力度分布の仮定

付着余裕度の評価にあたっては、図5のような主筋応力度分布を想定して、切替面曲げ降伏時の存在付着応力度(τ_d)を求める。すなわち、ハンチ部主筋ではテンションシフトの影響を考慮するものとし、その範囲は実験結果を参考にスタブ面から梁せいの0.5倍と仮定する。ハンチ部主筋のスタブ面存在応力度は、1段目

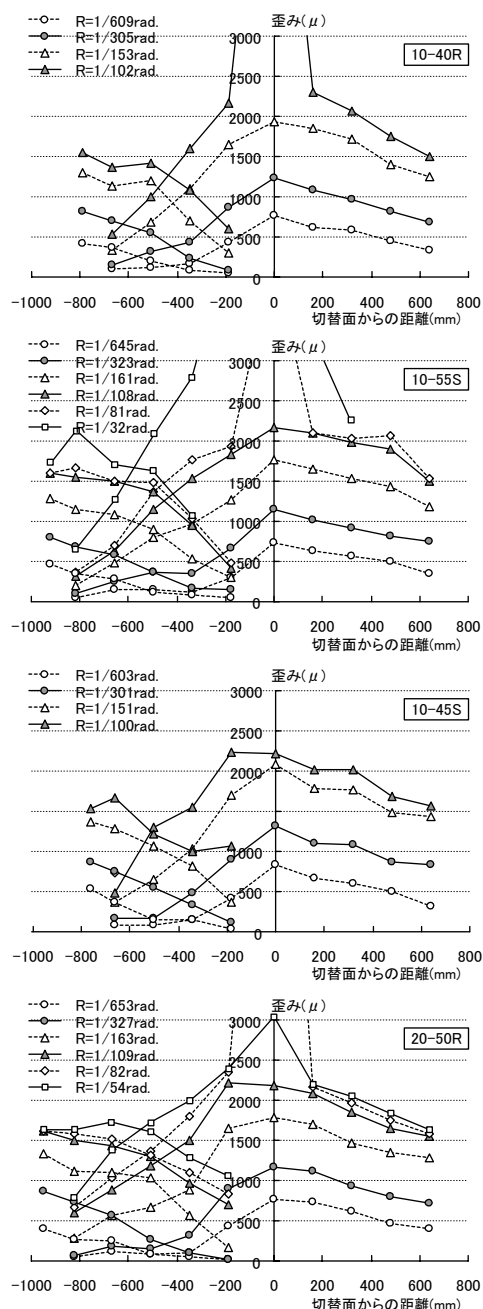


図4 下端主筋の歪み分布

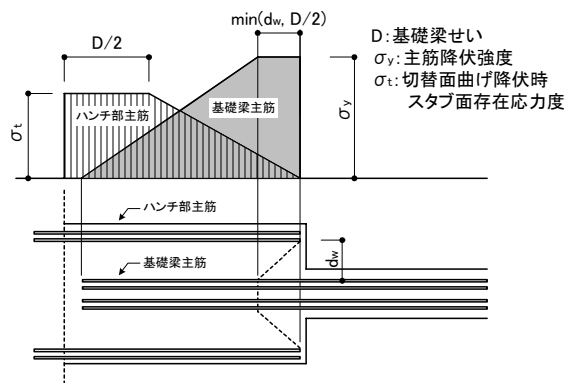


図5 切替面曲げ降伏時の主筋応力度分布

主筋を対象として断面曲げ解析より算出する。

一方、基礎梁主筋ではハンチ部主筋との応力伝達を勘案して図中、点線で示すような、ハンチ部主筋先端から45度の角度で発生するコーン状ひび割れを仮定する。ただし、このひび割れの角度は本来、基礎梁主筋とハンチ部主筋のあき間隔によって変化すると考えられ、これを45度で一義的に仮定すると、ハンチ部の幅寸法が比較的大きいときに、付着劣化域を過大に評価する可能性がある。改めて図4をみると、主筋のあき間隔が360mmの20-50Rでは、基礎梁主筋の付着劣化域は200～300mm程度となっている。そこで、同付着劣化域は梁せいの0.5倍に相当する270mmをその上限と仮定した。

4.2 付着割裂強度の評価

各主筋の付着割裂強度は、RC規準の短期許容付着応力度(τ_d)に基づき算定する。ただし、基礎梁主筋においては、サイドスプリット型の付着割裂破壊に対して、ハンチ内の側面被り厚さが非常に大きいことの効果を勘案して、式中の係数Cを上限の5で評価する。一方、ハンチ部主筋は明らかにコーナースプリットに分類されるため、式中の係数Cは最小被り厚さ

表4 存在付着応力度と付着強度の評価方法

存在付着応力度(τ_d)

$$\tau_d = \sigma_t \cdot a_s / (L_e \cdot \phi)$$

ここで、

σ_t : 検定断面の存在主筋応力度

a_s, ϕ : 当該主筋の断面積および周長

L_e : 定着長さから付着劣化域を減じた長さ
(ただし、折り曲げ定着では検定断面から折り曲げ起点までの長さとする)

付着強度(τ_a)

$$\begin{aligned} \tau_a &= K \cdot f_b \\ K &= 0.3(C+W)/d_b + 0.4 \\ W &= 80A_{st}/(s \cdot N) \end{aligned}$$

ここで、

f_b : RC規準による短期許容付着応力度

C: 主筋間のあき、もしくは最小被り厚さの3倍のうち小さい方で、鉄筋径の5倍以下

A_{st} : 想定付着割裂面を横切る1組の補強筋断面積

s: 横補強筋間隔

N: 想定付着割裂面における主筋本数

ただし、

折り曲げ定着の場合は上記 τ_a を1.5倍して評価する

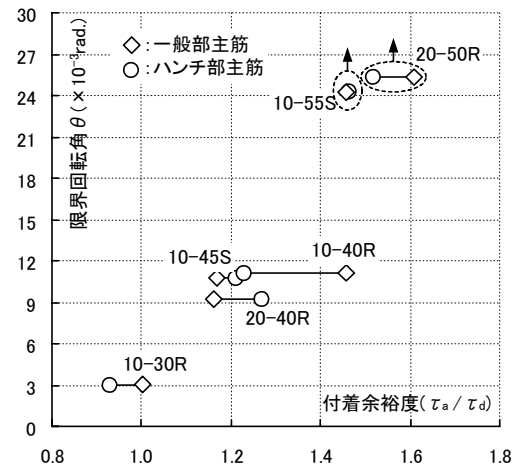


図6 付着余裕度と限界回転角の関係

の3倍によって評価する。

4.3 付着余裕度と限界回転角の関係

図6に正加力時の限界回転角(θ_u)と上記の評価方法に基づく付着余裕度(τ_a/τ_d)の関係を示す。同図では降伏応力に達した基礎梁主筋のみに着目すると、例えば、10-40Rと10-55Sとでは同程度の付着余裕度を有することになるが、両者の限界回転角は大きく異なる結果となっている。このことは試験体の付着余裕度は基礎梁主筋だけでなく、ハンチ部主筋も含めて評価すべきといえる。本評価方法では、基礎梁主筋とハンチ部主筋の小さい方の付着余裕度と、実験で得られた限界回転角との間に明瞭な相関性があり、付着余裕度の増大に伴う限界回転角の向上を良好に表現できる。

5. まとめ

本実験より以下の知見が得られた。

- 1) 基礎梁主筋の平行ハンチ内の付着強度は、RC規準による短期許容付着応力度の上限値程度であった。また、ハンチ部主筋は応力増大側の付着劣化が顕著であった。
- 2) 基礎梁主筋とハンチ部主筋の双方について応力度分布を仮定した。これらに基づく付着余裕度は実験で得られた限界回転角と良好な相関性を示した。

< 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，1999