

[79] 形鋼鉄筋併用コンクリート構造の実験的研究

正会員 ○池 田 尚 治 (横浜国立大学工学部)
 上 田 浩 司 (本州四国連絡橋公団)
 樋 口 康 三 (本州四国連絡橋公団)
 正会員 山 口 隆 裕 (横浜国立大学工学部)

1. 緒 言

形鋼をトラス状に組立てた鉄骨と鉄筋とを併用するコンクリート構造は、経済性、施工性に優れているのみならず力学的にも多くの利点を持たせることが可能な構造であると思われる。本研究は、このような形式の鉄骨鉄筋コンクリート構造物の設計方法の確立をはかるために行つた実験的研究を中心に検討を行つたものである。

2. 形鋼鉄筋併用コンクリート構造の特徴

ここで言う形鋼鉄筋併用コンクリート構造の設計概念は次の通りである。即ち、大断面の鉄筋コンクリート部材を設計するに際し、H形鋼のようなロール材を鉄筋の一部に置き換えて使用することにより、鉄筋の断面配置を容易にするとともに形鋼をプレッシング材によつてトラス状鉄骨構造とすることによりせん断力やねじり力に対して靱性に富んだ構造とすることができる。また、架設時には形鋼による鉄骨の組立てを先行することによりこれを施工時の足場やガイドとして利用することができ施工が相当に合理化される。しかしながら形鋼は異形鉄筋と較べてコンクリートとの付着が劣るために形鋼の定着方法やコンクリートのひびわれ幅の制御について十分な配慮が必要となる。

鉄骨のフーチングへの定着に関しては、形鋼のフーチング埋込み部分にスタッドジベルを溶接して直接フーチング中に埋込んで定着することにより、従来から行われているアンカーフレームとアンカーボルトを省略し、設計施工の合理化をはかることができる⁽¹⁾。コンクリートのひびわれ幅の問題に関しては、断面内に鉄筋を鋼材量の30%程度以上配置することによつてひびわれの分散をはかるものとする。

せん断力に対する設計方法としては、基本的には鉄筋コンクリート方式とするが、鉄骨斜材の配置を原則としてダブルワーレントラス形式とし、斜材のうちの有効なものは斜引張鉄筋に換算して考慮する。ただし、鉄骨鉄筋コンクリートとしての靱性の有利さを保持し、かつ、鉄骨の付着特性の劣性を補完する必要性、等を考慮して最小鉄骨斜材量を定めることとする。この量は鉄骨部分が本来負担すべきせん断力の1/2の量の斜材量とする。

以上に述べた設計方法は、鉄筋コンクリートの設計概念の中に鉄骨鉄筋コンクリートの持つ長所を採り入れた新しい設計概念であり、単なる累加を前提とした混合構造ではなく、合成構造としての力学機構も利用しているものと言える。

本研究は、このような構造形式のコンクリート部材の性能の確認と挙動の把握およびそれらの評価について実験的検討を加えるものである。

3. 実験方法

実構造物として6m×6m程度の断面の4隅に500mm×500mmのH形鋼を配置した鉄骨鉄筋コンクリート橋脚を想定して実験計画を立案した。実験における検討項目は次の通りとした。(a) 形鋼と鉄筋との併用構造の正負繰返し曲げに対する挙動、(b) せん断設計の妥当性に関する検討、(c) スタッドによる鉄骨のフーチングへの定着特性。これらを詳細に検討するために、フーチング付きの橋脚供試体を6体(以下Pシリーズという)、橋脚柱と同一断面のはり供試体を8体(以下Bシリーズという)作製し正負繰返し載荷試験を行うこととした。Pシリーズの橋脚供試体は、軸方向引張鋼材量を0.84%とした45cm×45cmの正方形断面とし、断面の中央の孔に配置したPC鋼棒によるプレストレス力によつて15kg/cm²の軸圧縮応力を作用させた。フーチングは大

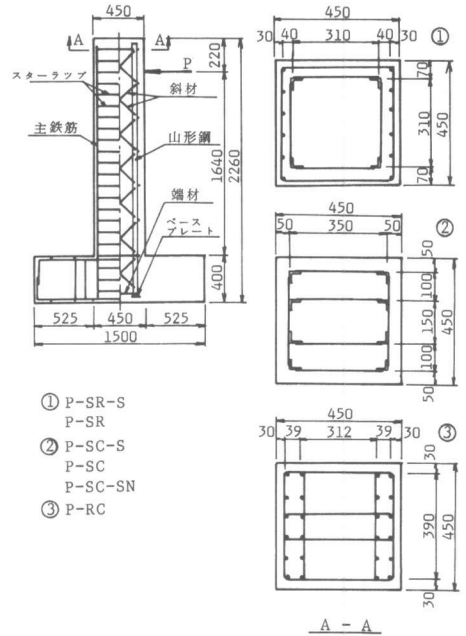
きを80cm×150cm、厚さを40cmのRC構造とし、PC鋼棒によるプレストレス力によって反力床に固定した。載荷は電動油圧ポンプを用いて供試体頭部に水平な正負繰返し力を加えた。荷重は地震時荷重、降伏荷重、2θ変位(1回)、3θ変位(5回)、---の順に正負繰返し載荷することを標準とした。橋脚供試体の形状と一覧を図-1および表-1に示す。供試体別の検討内容としては、この設計概念に対応するP-SR-Sを標準タイプとし、これからスタッドを除いたものをP-SR、P-SR-Sの鉄骨のみを2倍し鉄筋を除いたものをP-S-C-S、更にそれからスタッドを除いたものをP-S-C、スタッドの効果のみ顕著に把握できるようにフーチング中の鉄骨端部ベースプレートと端材及び鉄骨のブレースングを除いてスタッドのみによる定着としたものをP-S-C-SN、比較のためのRC供試体をP-RC、とした。また、P-SRおよびP-S-Cを除きそれぞれの山形鋼のフーチング埋込部には21本のスタッドを溶接した。なお、このPシリーズは主として橋脚とフーチングとの接合部の破壊が先行するようにした。

はり供試体によるBシリーズの実験は前述の橋脚供試体と同一の断面寸法とし、せん断支間・けた高比a/dを2.5(一部3.0)として、せん断耐荷特性を把握するために行つたものである。供試体の構成は軸引張鋼材比、斜引張鋼材比を変化させた鉄骨鉄筋コンクリートはり5体、鉄骨コンクリートはり1体、鉄筋コンクリートはり2体、計8体である。載荷は電動油圧ポンプを用いて鉛直方向に正負繰返し荷重を加えることとし、載荷の繰返し方法はPシリーズと同様とした。なお、供試体一覧は表-4に示してある。

使用材料はPシリーズおよびBシリーズとも表-2に示すように形鋼として40mm×40mmの山形鋼を用い、ブレースングには普通丸鋼を用いた。

表-2 材料の機械的性質

寸法規格	降伏強度 (Kg/cm ²)	引張強度 (Kg/cm ²)
スタッドジベル	φ7	55
鉄筋	D16 SD30	37
	D13 "	37
	φ13 SR24	39
	φ9 "	35
	φ6 "	28
山形鋼	40×40×5 SS41	35
鋼板(ベースプレート用)	60×6×60 "	30
コンクリート	試験時の圧縮強度はPシリーズが29.3 Kg/cm ² 、Bシリーズが28.5 Kg/cm ²	



- ① P-SR-S
P-SR
- ② P-S-C-S
P-S-C
P-S-C-SN
- ③ P-RC

図-1 Pシリーズ供試体図

表-1 Pシリーズ供試体一覧表

No.	供試体名称	橋脚部引張鋼材比(%)		橋脚部斜引張鋼材比(%)		橋脚部主鋼材	橋脚部斜引張鋼材	橋脚のフーチングへの定着方法
		鉄骨	鉄筋	鉄骨	鉄筋			
P-1	P-SR-S	0.417	0.422	0.105	0.126	山形鋼4本 D13 12本	スターラップ φ6ctc100 斜材 φ9	スタッド、斜材、端材、 ベースプレート、 鉄筋と鉄骨の付着
P-2	P-SR	0.417	0.422	0.105	0.126	〃	〃	斜材、端材、 ベースプレート、 鉄筋と鉄骨の付着
P-3	P-S-C-S	0.834	0	0.21	0	山形鋼8本	斜材 φ9	スタッド、斜材、端材、 ベースプレート、 鉄骨の付着
P-4	P-S-C	0.834	0	0.21	0	〃	〃	斜材、端材、 ベースプレート、 鉄骨の付着
P-5	P-S-C-SN	0.834	0	0.21	0	〃	〃	スタッド、 鉄骨の付着
P-6	P-RC	0	0.844	0	0.252	D13 24本	スターラップ φ6ctc100	鉄筋の付着

表-3 Pシリーズの実験結果

供試体	降伏荷重時		最大(2)荷重 (ton)	破壊状況	破壊時の変位
	変位(1) δ (mm)	柱つけ根部のひびわれ幅 (mm)			
P-SR-S	7.4	0.71	19.9	鋼材の座屈	13×δ (軸力なし)
P-SR	8.2	0.81	19.0	-	-
P-S-C-S	7.7	0.75	19.8	鋼材の座屈	5 δ
P-S-C	9.0	1.0	18.7	〃	5 δ
P-S-C-SN	8.5	0.88	18.2	〃	11×δ (軸力なし)
P-RC	7.0	0.6	18.5	〃	6 δ

注(1) フーチング上面から140cmの点の変位である。

(2) 正負の平均値を示す。

4. 実験結果と考察

(1) 橋脚供試体によるPシリーズについて

使用した鋼材の降伏点の値を参照し、引張側鋼材の応力度が 27000 Kg/cm^2 となる時の荷重 12 ton を地震時荷重とした。降伏荷重は、引張鋼材の応力度が 35000 Kg/cm^2 となる時の荷重 14.5 ton とし、この時の柱頭部の測点（フーチング上面から 140 cm の点）における水平変位量を 1δ とした。

表-3に各供試体の降伏荷重時の変位と柱つけ根部のひびわれ幅（この値はフーチングからの抜け出し量に対応する）、最大荷重、破壊の状況を示す。降伏荷重の変位は、小さい方から P-RC, P-SR-S, P-SC-S, P-SR, P-SC-SN, P-SC の順に大きくなっており、本研究の設計概念に従った P-SR-S 供試体の変位は RC 供試体と同様に小さい値となっている。また、降伏荷重時の柱つけ根部のひびわれ幅は上述の変位と全く同一の順番となっており、柱つけ根部のフーチングからの鋼材の抜け出しが柱頭部の変位に直接結びついていることが明らかである。この結果から、P-SR-S 供試体の柱のフーチングへの定着性能は意図した通りの満足な性能を持っていることが示されたものと思われる。P-SC-S と P-SC との相違はフーチング中の軸方向鋼材のスタッドの有無であつて、両者の変位挙動からスタッドの定着に及ぼす効果が明瞭に認められる。P-SC-SN はフーチング中の柱の軸方向鋼材をスタッドのみによつて定着したものであり、P-SC-S からフーチング中の鉄骨ブレースと端材及びベースプレートとを除いたものであるが、変位は前者の方が 10% 以上大きくなっている。これはフーチング中の鉄骨ブレースが定着応力を分担するからであり、ブレースが有効であることを表わしている。一方、つけ根部の変位は圧縮側にも生じているのであつて、これはコンクリートと鋼材とがフーチング中も含めて圧縮されるからである。P-SC の場合を例にとれば、降伏荷重時のつけ根部の回転の影響により柱頭部は約 4 mm の変位を生起するので、曲げによるたわみは 5 mm となり、全変位 9 mm のほぼ半分がつけ根部の回転によるものである。

図-2~6に、Pシリーズにおける 6δ までの荷重変位曲線の X-Yレコーダによる測定結果の例を示す。この図から明らかなように P-SR-S は 6δ の

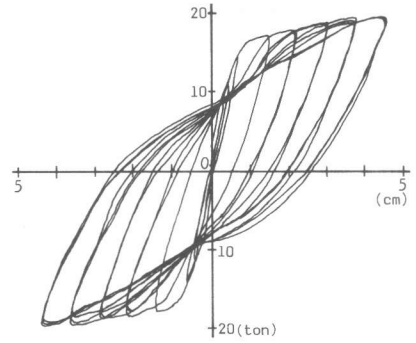


図-2 荷重・変位曲線 (P-SR-S)

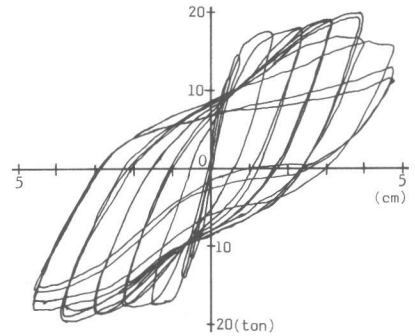


図-3 荷重・変位曲線 (P-SC-S)

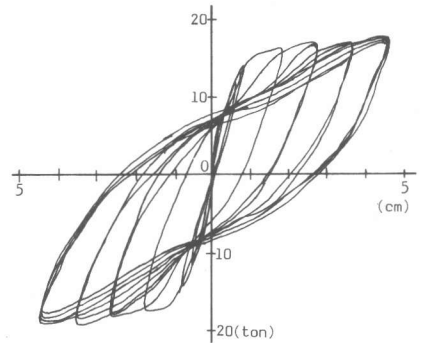


図-4 荷重・変位曲線 (P-SC)

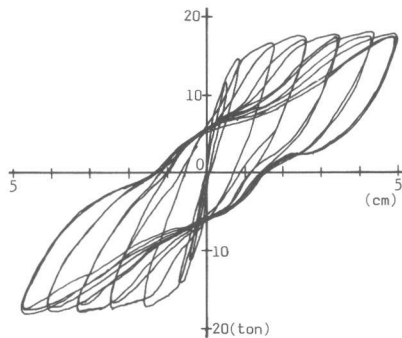


図-5 荷重・変位曲線 (P-SC-SN)

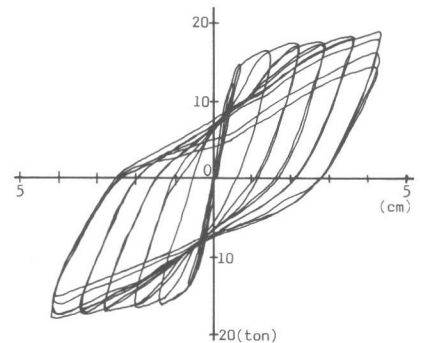


図-6 荷重・変位曲線 (P-RC)

正負繰返し載荷に対し極めて健全な挙動を示している。これに対し、P-S-C-Sは5δの繰返し中につけ根部附近の鋼材に座屈が生じ、5δの繰返しで耐力が2/3程度に減少した。P-S-Cはこれに対しつけ根部の抜け出しがP-S-C-Sに比べて大きい

表-4 Bシリーズ 供試体一覧と実験結果

No.	供試体名称	引張鋼材比(%)		斜引張鋼材比(%)		主鋼材	斜引張鋼材	せん断支間・けた高比	(1) 最大耐力 (ton)	破壊状況	(2) 降伏荷重時の変位:δ (mm)	最終載荷
		鉄骨	鉄筋	鉄骨	鉄筋							
B-1	SR-1-1 (1)	0.417	0.422	0.06	0.084	山形鋼4本 D1312本	スターラップ φ6ctc150 斜材φ6	3.0	18.0	せん断破壊	8.5	×δ (負の2回目)
B-2	SR-1-1 (2)	0.417	0.422	0.06	0.084	〃	〃	2.5	20.6	〃	10.0	3.7×δ (負の2回目)
B-3	SR-1-2 (1)	0.417	0.422	0.105	0.126	〃	スターラップ φ6ctc100 斜材φ9	2.5	23.6	〃	9.0	8.2×δ (正の2回目)
B-4	SR-1-2 (2)	0.417	0.422	0.105	0.126	山形鋼4本 D1320本 (腹面水平筋含む)	〃	2.5	30.0	〃	6.8	10.9×δ (正の3回目)
B-5	SR-2-3 (2)	0.834	0.844	0.21	0.216	山形鋼8本 D1324本	〃	3.0	35.0	〃	12.3	6×δ (正の1回目)
B-6	SC-1-2 (2)	0.834	0	0.21	0	山形鋼8本	斜材φ9	2.5	23.1	曲げ破壊 (圧縮側鋼材座屈)	10.5	7δ (正の5回目)
B-7	RC-1-2 (1)	0	0.844	0	0.21	D1324本	スターラップ φ6ctc120	2.5	22.1	せん断破壊	8.8	8.4×δ (正の2回目)
B-8	RC-1-2 (2)	0	0.844	0	0.21	〃	〃	3.0	16.6	〃	8.6	11.6×δ (正の1回目)

注(1) 自重を考慮していない値で正負の平均値である。(2) スパン中央の値である。

めに全体としての剛性が若干低下し、4δの繰返し中には耐力の低下が見られなかつたが、5δの載荷中に座屈が生じ耐力が徐々に低下した。P-S-C-SNの場合には、フーチング中にブレイキングがないために軸方向鋼材の降伏する長さが大きくなることなどの影響で他と異なつたヒステリシスカーブとなつている。この場合も全体としての剛性が若干低下するので6δの繰返し載荷に対して比較的安定していたが、フーチングの斜めひびわれが顕著に見られた。P-RCについては、6δの繰返し載荷中に鉄筋が座屈し破壊が進行した。Pシリーズの供試体の破壊は、柱のつけ根近傍の鋼材の残留伸びとコンクリートのひびわれによる劣化により鋼材の座屈が誘発されることによるものであり、破壊形式としては曲げ破壊であつてせん断破壊とはなつていない。これは、正負繰返し載荷のもとでせん断力に対する補強量が十分であつたことを示すものである。

(2) はり供試体によるBシリーズについて

実験結果は表-4に示す通りであつて、曲げ引張破壊のモードが先行していた供試体のほとんどが大変形の正負繰返し載荷によつてせん断破壊のモードに移行した。供試体はせん断に対しては若干危険側に設計してあるが、A C I c o d e等のようにコンクリートの負担するせん断力をそのまま考慮して腹鉄筋を設計する場合には十分満足していることから、大変形の正負繰返し載荷を受ける場合にはこのような設計方式は危険であると思われる。一方、Pシリーズの実験結果と合わせて考えれば、2で述べたせん断に対する本設計方法はほぼ妥当なものと判断することができる。また、破壊後の残留耐力については、RCとSRC、またはSCとで測定値上からは明確な相違を見出すに至らなかつたが、破壊状態を見る限りトラス状鉄骨が配置されている方が引張側鋼材と圧縮側鋼材との接続が確実であつて好ましいように思われた。

5. 結論

新しい設計概念として形鋼鉄筋併用コンクリート構造の設計方法を提案し、これに関する実験を行つた結果この設計概念が妥当なものであることが示された。しかしながら、この設計方法を実構造物に適用する場合には更に研究を要する点が出てくると思われるし、また、今後の発展も十分可能であると思われる。これらについては今後の課題としたい。

なお、本実験は、本州四国連絡橋公団設計部課長 金光宏氏の熱意によつて実施の運びとなつたことを付記するとともに本研究遂行に際し御協力をいただいた関係各位に深謝の意を表する次第である。

参考文献 1) 池田, 大町, 森, 山口: スタッドジベルによる鋼材とコンクリートとの応力の伝達について

第3回J C I講演論文集, 1981年6月(発表予定)