

論 文

[2168] 鋼製エレメント合成構造橋脚の力学的特性に関する研究

松田哲夫^{*1}・前田良文^{*2}・村山陽^{*3}・沖本真之^{*4}

1. 概要

日本道路公団においては、横断道建設の展開に伴い、高橋脚を有する山岳橋梁が数多く建設されている。高橋脚は橋梁工事工程に占める割合が多くなる事、施工が困難である事等の問題がある。さらに、3Kや人手不足の社会情勢により、橋梁工事の省力化を実現するための研究開発が数多く進められているところである。今回、橋脚工事の中でもその工程に占める割合の高い鉄筋工事の省力化工法として、鉄筋の代わりに鋼製エレメントを用いた合成構造を考案した。本構造の力学的特性を把握するため、RC構造・合成構造の橋脚模型試験を行ったので報告する。

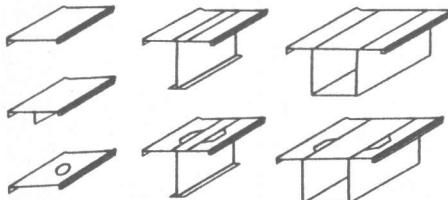


図-1 鋼製エレメントの種類

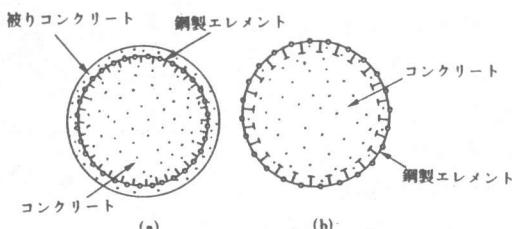


図-2 合成構造の種類

2. 鋼製エレメントの種類

鋼製エレメントとは図-1に示すように直線鋼矢板と形鋼等を組み合わせたものであり様々な形式のものが考えられる。これをセル状に鋼矢板と同様の嵌合継手により連結させ鉄筋の代わりとし、コンクリートを打設して合成構造とするものである。この場合、図-1下段に示すように鋼製エレメントに開口部を設けて被りコンクリートを有する従来の鉄筋コンクリート構造に近い構造(図-2(a))と、開口部を設けず型枠の代わりとしての機能を持たせ、鋼製エレメント内にコンクリートを充填する構造(図-2(b))に分けられる。しかし、(b)は型枠も不用という利点はあるものの、鋼製エレメントの防錆

表-1 断面諸元

構 造	RC構造	合成構造
使 用 材 料	コンクリート $f_{ck}^{\prime} = 300 \text{ kgf/cm}^2$ 鉄筋 SD 295 A 鋼材 SM 490 A	
全 断 面 積	5,035 cm ²	5,035 cm ²
コンクリート断面積 AC	4,876 cm ²	4,874 cm ²
鋼 材 量 AS	159 cm ²	161 cm ²
横方向鋼材量 AW	2.534 cm ²	2.560 cm ²
横方向鉄筋間隔	12 cm	12 cm
軸 方 向 鉄 筋 比	3.26%	3.30%
横 方 向 鉄 筋 比	0.222%	0.225%

*1 日本道路公団 高松建設局 構造技術課 (正会員)

*2 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室主任

*3 日本道路公団 試験研究所 橋梁研究室

*4 新日本製鐵(株) 技術開発本部鉄鋼研究所 鋼構造開発センター 主幹研究員

やコンクリートと鋼材の力学的性状について十分な検討が必要となる。

今回は、(a)の構造について検討した結果を報告する。

3. 橋脚模型試験

3. 1 試験概要

本試験では、従来のRC構造との比較により鋼製エレメントを用いた合成構造の力学的特性を解明することを目的とした。

供試体は橋脚模型とした。荷重載荷方法は、上部工死荷重反力に相当する荷重を常時載荷しながら水平方向に正負繰返し載荷を行った。

3. 2 供試体

RC構造と合成構造の橋脚模型を図-3に、それぞれの供試体の断面諸元を表-1に示す。

合成構造の軸方向鋼材量は、開口部分を除いた量とし、横方向鋼材量は、開口間の鋼材量とした。合成構造の供試体は、RC構造の供試体と断面積、鋼材量を等しくした。

供試体に用いた材料の、材料試験の結果を表-2に示す。

3. 3 載荷方法

載荷試験は鉛直荷重を載荷した状態で、水平正負繰返し載荷により行った。この時の鉛直荷重

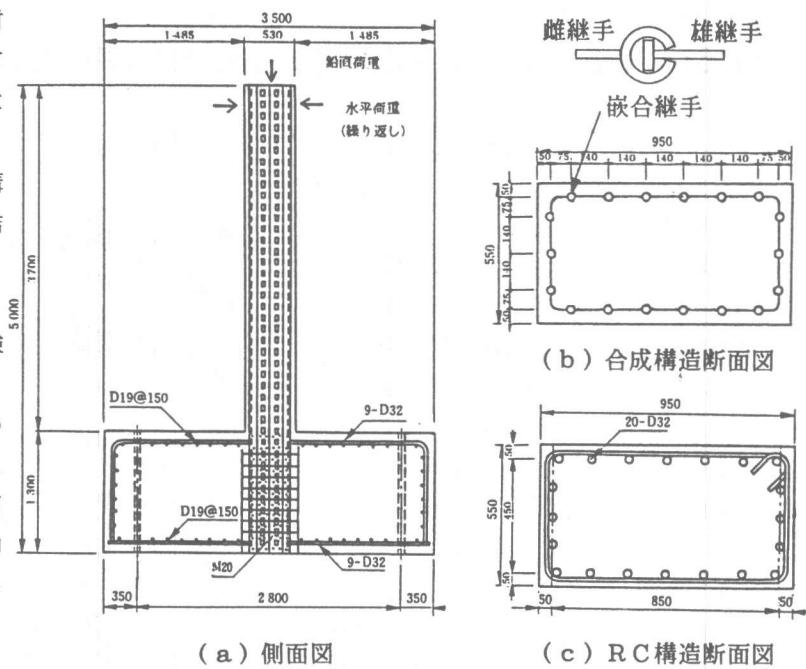


図-3 橋脚模型供試体 単位 (mm)

表-2 (a) 鋼材の材料試験結果

鋼重	使用部位	材質	上降伏点 (kgf/mm²)	下降伏点 (kgf/mm²)	破断強度 (kgf/mm²)	伸び (%)
厚板	エレメント本体	SM490A	37.9	37.1	54.9	33.8
厚板	エレメント雄継手	SM490A	43.3	42.1	54.4	36.9
鋼管	エレメント雌継手	STKM16A	36.1	...	67.5	30.1
鉄筋	主筋	SD295A	35.7	...	56.4	30.8
鉄筋	フープ筋	SD295A	38.0	...	54.1	26.3

表-2 (b) コンクリートの材料試験結果

供試体	養生条件	測定日	圧縮強度 (kgf/cm²)	引張強度 (kgf/cm²)	静弾性係数 (kgf/cm²)	ポアソン比
合成矩形	現場	試験日	262	25.8	1.89×10^5	0.151
		28日	315	24.8	2.16×10^5	0.174
	標準	7日	335	—	—	—
		28日	375	—	—	—
RC矩形	現場	試験日	374	27.4	2.32×10^5	0.184
		28日	458	28.6	2.55×10^5	0.155
	標準	7日	381	—	—	—
		28日	426	—	—	—

は、実際の橋脚に作用している軸力を基に 40 kgf/cm^2 と設定した。また、橋脚基部の最外縁の鋼材が降伏に達した時の載荷荷重を降伏荷重 P_y 、その時の供試体頭部水平変位を降伏変位 δ_y と定義し、水平荷重は、図-4に示すように、降伏荷重までは荷重制御法により載荷し、降伏荷重以降は変位制御法により載荷した。ただし、 $3\delta_y$ までは繰り返し回数を3回、それ以降は1回とし、橋脚基部の鋼材が座屈した時点で、載荷を終了した。

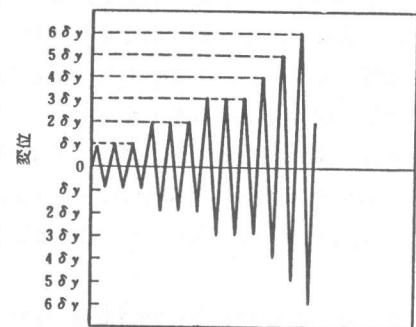


図-4 載荷パターン

4. 試験結果及び考察

4. 1 荷重及び変位

上述した載荷方法により得られた結果の包絡線を図-5に示す。実線は試験値、破線は解析値を示す。合成構造を設計する方法は、①鋼材を鉄筋に換算するRC方式と、②鉄筋コンクリート部分の耐力と鋼材部分の耐力の和として算定する累加強度方式とがあるが、今回ここで検討している解析値とは、RC方式を用いて算出したものである。試験値と解析値の比較を表-3に示す。

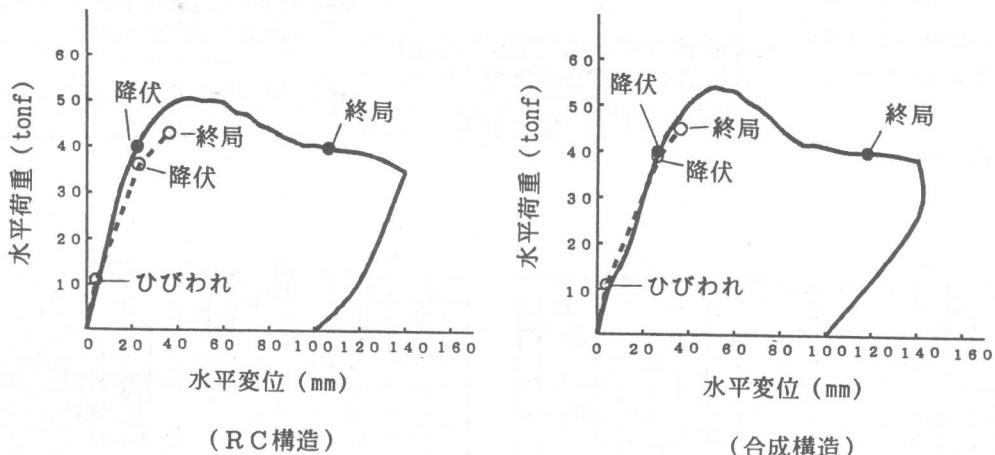


図-5 荷重～変位曲線

表-3 試験値と解析値の比較

構 造	R C 構 造						合 成 構 造					
	降 伏 時		最 大	終 局	靭性率 $\frac{\delta}{\delta_y}$	降 伏 時		最 大	終 局	靭性率 $\frac{\delta}{\delta_y}$		
	荷 重 (tf)	変 位 (mm)	荷 重 (tf)	変 位 (mm)		荷 重 (tf)	変 位 (mm)	荷 重 (tf)	変 位 (mm)			
試験値 A	39.1	22.1	49.1	107.0	4.84	41.3	27.7	52.9	119.1	4.30		
解析値 B	36.1	22.9	42.9	36.4	1.58	39.2	27.0	44.9	36.3	1.34		
A / B	1.08	0.97	1.14	2.94	3.06	1.05	1.03	1.18	3.28	3.21		

R C 構造と合成構造の降伏荷重及びその変位は共に解析と試験が近い値を示している。その差は10%未満であり比較的良く合っていると思われる。最大荷重時変位の解析値と試験値は降伏時と比較してその差が大きい。しかし、全体的に見て R C 構造と合成構造共に、解析値より試験値が大きくなっているのが分かる。

各供試体の韌性率についても、R C 構造と合成構造は同程度であり、解析値に対する試験値の比も両構造ほぼ等しい事が分かる。なお、終局の定義は、試験については荷重が再び降伏荷重 P_y に達したとき、解析についてはコンクリートが終局ひずみ 0.0035 に達したときとした。

4. 2 ひび割れ及び軸方向鋼材ひずみ

各サイクル終了時の供試体の状況を表-4に、橋脚基部から2m以内の最終破壊状況を図-6に示す。図-7に各サイクル毎の鋼材の軸方向ひずみの分布を示す。

図-6に示した

表-4 ひび割れ発生状況

R C 構造	鋼製エレメント合成構造
1 δy 基部から2mの範囲において、帯鉄筋上(12cm間隔)にひび割れが発生した。	20~30cm間隔で横方向にひび割れが発生した。
2 δy 上記ひび割れが進展した。	上記ひび割れが進展するとともに、側面にはせん断ひび割れが生じた。また、載荷面側エлемент継ぎ手部上(軸方向)にひび割れが発生した。
3 δy 基部のコンクリートが圧壊した。側面にせん断ひび割れが生じた。	軸方向のひび割れが供試体天端まで到達し、ひび割れは全体的に格子状になっており、載荷面側被りコンクリートと鋼製エлементとの付着が失われコンクリートの剥落が生じた。
4 δy ひび割れが格子状となり、基部から1m部分のコンクリートは鉄筋と完全に剥離している。	_____
5 δy _____	鋼製エлементが座屈したので試験を終了した。
6 δy 鉄筋が座屈したので試験を終了した。	_____

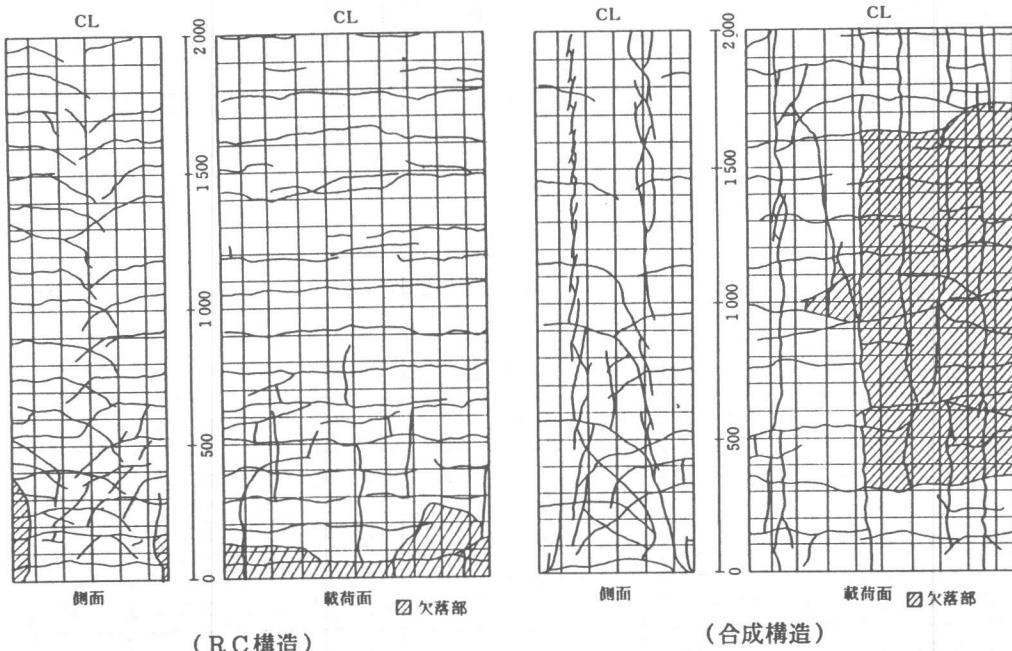


図-6 最終破壊状況

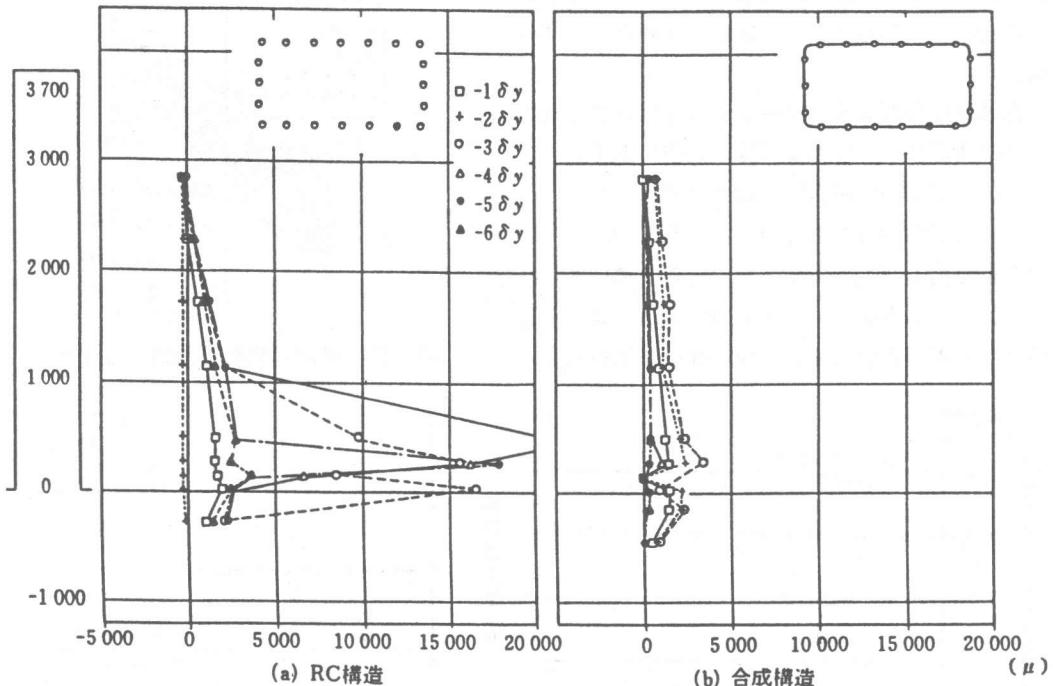


図-7 軸方向鋼材ひずみ

ように、終局状態においては、RC構造に比べて合成構造のひび割れが縦横に発生し、コンクリートの欠落の範囲も大きい。これは、鋼製エレメントの外側と内側のコンクリートが開口部のみ連結されており、RC構造に比べて連結されている面積が小さいためであると思われる。しかし、 $1\delta_y$ 以下においては、両構造のひび割れ状態は多少異なるが、鋼材に発生する応力が降伏以下である使用状態において、鋼製エレメント合成構造は力学上問題がないと思われる。

さらに、合成構造では橋脚基部から2mの範囲では欠落している部分は全体的であるのに対し、RC構造では橋脚基部に集中している。このことは、図-7に示す鋼材の軸方向ひずみ分布に示されるように、RC構造では、ひずみが橋脚基部に集中している為であると思われる。

4.3 エネルギー吸収能力

交番載荷試験からの履歴吸収エネルギーの算定方法は、既往の文献¹⁾に示された下記の方法により行った。

橋脚の復元力特性を模式的に図-8のように表すと、1サイクル当たりのエネルギー吸収能力は ΔW で表される。しかし、 ΔW は最大変位の大きさによってその値が変化し、部材の特性を定数的に表すには不都合であるために、一般的には載荷時に部材に蓄積されるエネルギーWとの比 $\Delta W/W$ をとり、これを便宜的に減衰を伴う振動系における粘性減衰定数hと等価に評価するものとして式(1)で示される等価粘性減衰定数 h_{eq} が、エネルギー吸収能力または、減衰性を示す指標として用いられる。

$$h_{eq} = \Delta W / (2\pi W) \quad (1)$$

上記の方法で累積履歴吸収エネルギーと等価粘性減衰定数を算定すると、図9、10のようになる。

累積履歴吸収エネルギーについては、RC構造も合成構造についてもほぼ等しい値である。

一方、等価粘性減衰定数については、 $3\delta_y$ まではRC構造の方が大きいが、 $4\delta_y$ においては、合成構造の方が大きくなるが、その差は小さい。

以上より、鋼製エレメント合成構造とRC構造のエネルギー性能に大きな差はないと思われる。

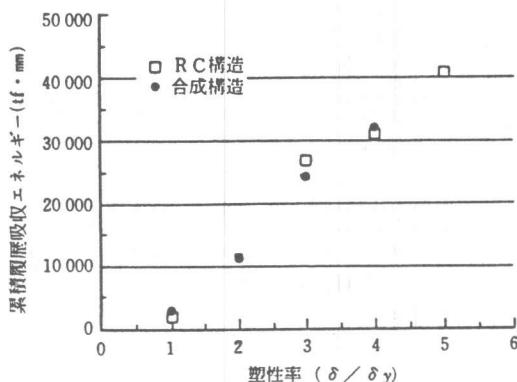


図-9 累積履歴吸収エネルギー

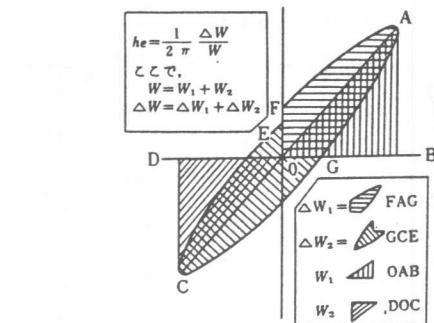


図-8 等価粘性減衰定数算定方法

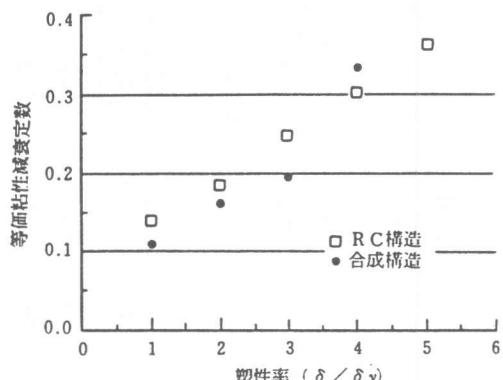


図-10 等価粘性減衰定数

5.まとめ

断面積・鋼材量を同じにしたRC構造橋脚と鋼製エレメントを用いた合成構造橋脚は、設計法、韌性、耐震性はほぼ同様に考えて良いと考えられる。

今後は、鋼製エレメントに被りコンクリートを有する合成構造の構造細目を決定する為の試験と設計・施工法の検討及び、被りコンクリートが無い合成構造は、防錆上・設計法上の問題を残しおり、検討していく予定である。

今後、この鋼製エレメントを使用する際には、本報告が役立てば幸いである。

参考文献

- 1) 川島一彦, 小山達彦. 鉄筋コンクリート橋脚の動的特性に及ぼす載荷くり返し回数の影響. 土木技術資料29-6, PP317-322, 1987
- 2) 岩崎訓明. コンクリートセミナー1 コンクリートの特性. 共立出版社, PP97
- 3) 日本建築学会. 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, PP90-97
- 4) (社)日本道路協会. 道路橋示方書・同解説V耐震設計編. PP74-79, 1990
- 5) 川島一彦. 円形断面鉄筋コンクリート橋脚の韌性に及ぼすスパイラル筋の効果. 土木技術資料 33-6, PP62-70, 1991
- 6) 石原静夫, 中村正人, 曽田信雄. 鉄骨鉄筋コンクリート構造体の韌性に関する研究(その3). 日本道路公団試研所報告(昭和55年度), PP170-181