

# 土木構造物に対する鉄骨鉄筋コンクリートの適用

西野 祐治郎\*・大野 晃\*\*  
 泉 満明\*\*\*・山寺 徳明\*\*\*\*

## 1. 序 論

鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造は、鉄骨を組んでおき、このまわりに鉄筋を配置して、コンクリートを打設し、力学的にこれらが一体として働くようにした構造である。したがって、コンクリートは密実で充てんが良好なこと、断面で鉄骨はコンクリート中に埋込まれ、鉄骨の重心とコンクリートの重心ははなはだしく離れていないことなどが要求される。

この構造の力学的性質は、鉄筋コンクリート構造と共通のものを持っているが、鉄骨と鉄筋コンクリートの構成材であるだけにさらに複雑である。したがって、設計計算法も、鉄骨を鉄筋の一部とみなす鉄筋コンクリート式計算法、コンクリート断面を無視し、鉄筋を鉄骨の一部とみなす鉄骨式計算法、鉄骨と鉄筋コンクリートそれぞれの断面力の和を部材断面力とする累加強さ式計算法の3種類がある。建築の分野では、一応累加強さ法に統一されているが、ほかの計算法も鉄骨と鉄筋量の比率に

表一 SRC 構造と他構造形式との比較

	鉄筋コンクリート構造との比較	鋼構造との比較
長所	1) 同一断面内に多量の鋼材配置が可能、したがって、断面の抵抗力大 2) 鉄骨自体が完結した形となっているので、粘り強い。 3) 1)の理由により支間が大きくとれる。 4) 支保工の建込みが困難な箇所でも施工可能	1) 耐久的で、防蝕等維持補修の必要がほとんどない。 2) 耐火的である。 3) 工費が安い
短所	1) コンクリートの打設が一般にやりにくい。 2) 工費が多少高い。	1) 工期が比較的長い。 2) 現場の作業がはな雑である。

\* 正会員 首都高速道路公団 工務部次長  
 \*\* 正会員 首都高速道路公団 第三建設部 設計調査課長  
 \*\*\* 正会員 首都高速道路公団 神奈川建設局  
 \*\*\*\* 正会員 首都高速道路公団 第二建設部

表二 下部構工費の比率

構造形式	躯体工のみ	1基当り	備 考
RC	100	100	1基当りの工費は 土工、土留工、基礎杭工を含んでいる。
SRC	170	105	
鋼	300	113	

よっては、無視し得ない点があり、設計者は適宜に選択して設計を行なうことが必要であろう。

つぎに、SRC 構造とほかの構造形式との比較を行なうと表一1のようなになる。この中にあげられている工費について、各構造形式による下部構概略工費の比率を示すと表二2のようなになる。これらの比率は、使用鋼材の多寡によって変化するものであるが、いずれにしても、SRC 構造は RC 構造より工費高であり、鋼構造よりは経済的である。

建築の分野では、本構造による設計施工例は数多くある。関東大震災の試練の結果、その耐震性が認識されてから、断面形式などが国独自の方式として発達し、大体6階以上の高層建物はこの構造によって築造されるに至っている。しかも、1958年に日本建築学会により計算規準<sup>1)</sup>が作成され、一応実情にあった、合理的かつ統一のとれた設計が行なわれるようになった。

しかるに、土木の分野では、表一1に示した特徴があるにもかかわらず、SRC 構造による設計施工例はわずかである。この原因としては、土木構造物としての設計施工について抛るべき基準がないこと、本構造を不可欠とする設計条件の場合が少なかったこと、あるいは、表一1に示した短所が、設計者にこの採用をさまたげていたものと考えられる。しかし、最近になり、既成市街地の街路上あるいは洪水河川中の下部構造に対して、設計施工上、経済性、維持補修などの面から、SRC 構造に適した立地条件の場合が多くなってきている。したがって、本構造は今後相当数計画され、実施されるものと予想されるので、土木構造物への適用に当たってあい路となっている点を明らかにし、それらの解決を計っていくこ

とが必要である。筆者らは、まず首都高速道路公団（以下首都公団と記す）で設計施工した事例により、SRC構造に適した立地条件の例を示す。つぎに、累加強さを建前としているが、土木構造物に適用できるような考慮を払った首都公団の設計基準を示し、並行して実験結果に考察を加え、問題点を明らかにし、それらの解決策も考えて行きたい。

## 2. 首都公団における SRC 構造物

首都公団では、SRC 構造を高架橋の橋脚につぎのような二つの方法で採用している。すなわち、1) 柱、はりとも SRC 構造となるもの、2) 柱のみが SRC 構造で、はりには鋼構造のもの二者である。後者は主にはり下の空間を交通に開放し、はり部でのコンクリート工事に困難をきたす場合に用いられる構造形式である。

### (1) 柱、はりとも SRC 構造の例（5 号線神田川筋）

高速道路は、この部分で河川上空を通る。下部構設計の際の主な条件はつぎの通りであった。

- 1) 本河川は洪水河川であるので、河積をできるだけ減らさないように、河川中の脚柱は1本とし、ほかは護岸上に建てる。ラーメン方向の柱幅はできるだけ狭くし、柱断面は流水を阻害しないような形状（円、長円、小判形）とする。
- 2) 舟航のための航路を確保できるよう、河川中の橋脚位置を決定する。

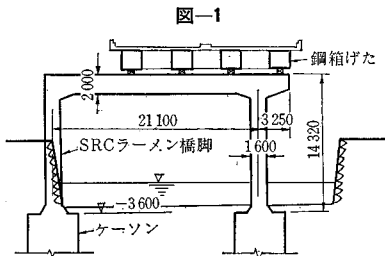


図-1

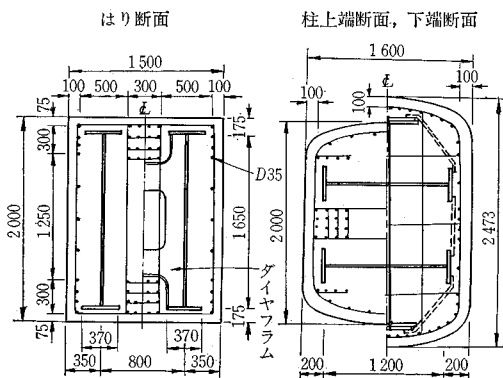


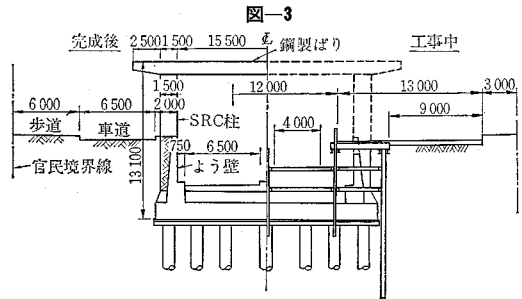
図-2

以上の条件から、経済性を無視しない程度に橋梁のスペンをとばし、下部構の基数を少なくし、ラーメン方向の柱幅もできるだけ狭くするような努力がなされ、図-1 に示すような横断形が決められた。RC 構造ではこの条件を満たす設計はできないので、鋼構造と SRC 構造について比較検討した結果、鋼構造よりも経済的で、水中部に特殊な防蝕塗装を施す必要のない SRC 構造の採用を決定した。

設計計算の方法は 3. を参照されたい。ここでは柱およびはりの代表的断面を図-2 に示す。

### (2) 柱のみが SRC 構造の例（1 号線昭和通り）

高速道路は昭和通り上空を通る。昭和通りはこの部分で、これに交わる道路と立体交差し、一部がトンネルとなる。この立体交差工事を高速道路工事と同時に進め、高架橋の橋脚をトンネルの側壁またはよう壁部と一体に建設する。この際、昭和通りは工事中も片側 13m の車道幅を確保することが条件として与えられ、図-3



- 1) フーチングおよび柱地下部施工中は、街路および覆工上で片側車道幅員を13m確保する
- 2) 柱およびはり施工中は片側車道幅員を街路上9m、トンネル中4m確保する

に示す方法で解決した。このような立地条件の下では

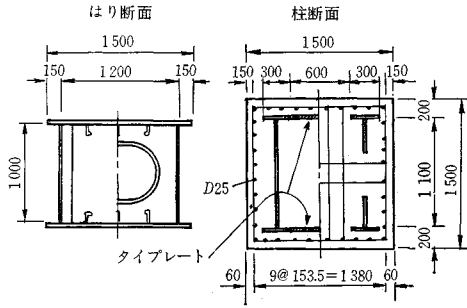
- 1) 柱の幅が制限される。
- 2) 立体交差部分のトンネル側壁およびよう壁との構造上の取り合わせが水密的で連続的であり、維持補修の手間のかからないものであることが好ましい。鋼橋脚を用いれば、土に接する部分で、根巻をしなければならないから、SRC とした方が、結局断面を有効に利用したことになる。
- 3) 支保工、足場などの建込は不可能である。

以上の設計条件から構造を検討した結果

- 1) 柱は SRC 構造とし、トンネル側壁、よう壁の RC 部分と同時にコンクリート打設を行ない、連続的構造とする。
- 2) はりでは吊型わくによりコンクリートを打設し、SRC 構造とすることも可能だが、施工の繁雑さを避け、鋼構造とした。

このような構造では、特に、はりの鉄骨から、柱の鉄筋コンクリート部分への応力の伝達が問題となるが、こ

図-4



れについては 3. で述べる。柱、はりの主な断面形状を 図-4 に示す。

### 3. 鉄骨鉄筋コンクリート構造の設計基準および実験結果の考察

#### (1) SRC 設計基準

ここに示す基準は、首都公団で作成した設計基準<sup>2)</sup> から引用している。この基準は全部で 11 章よりなるが、紙面の都合で、まず、1~4 章の主な内容を紹介し、ついで、5 章~11 章の主な本文を記載する。

**第 1 章 適用の範囲** ここではこの基準の適用の範囲を下部構造に限定すること、および他の関連示方書の規定にも制約を受けることを述べている。

**第 2 章 記号** SRC の設計計算に用いる記号が示されている。

**第 3 章 材料** 使用材料の材質等に関する規定で、他の土木関係示方書の規定に準ずることを述べている。

**第 4 章 設計荷重** 設計荷重が規定されているが、SRC の単位重量は鋼材料が多いので、RC 構造より大きめの 2.6 t/m<sup>3</sup> を規定し、施工中の荷重に対しても注意をうながしている。

#### 第 5 章 許容応力度

##### (1) コンクリート

#### (2) 鉄筋

種類	$\sigma_{sra}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
SD 24	1400
SD 30	1800
SD 35	2000

#### (3) 鉄骨

材質	荷重状態 応力の種類	設計荷重載荷時			架設荷重載荷時 (鉄骨のみの場合)		
		圧縮*	引張*	せん断	圧縮	引張	せん断
SS41, SM41		1300	1400	800	鋼示 27 条および 31 条の値を適用する。		
SM 50		1800	1900	1100			
SM 50 Y		1800	1900	1100			

注) \* 曲げ応力度に対しても同一値を用いる。

#### (4) 省略

#### (5) 許容応力度の割増率 (%)

状態	項目 材料	割増率 (%)			備考
		鉄骨	鉄筋	コンクリート	
1	主荷重+温度変化および乾燥収縮の影響	15	15	15	いかなる場合も、鋼材は降伏点以下の応力度を使用しなければならない。
2	主荷重+衝突荷重	50	50	50	
3	主荷重+地震の影響	50	50	50	
4	主荷重+温度変化+乾燥収縮+地震の影響	65	65	65	
5	架設荷重	25	25	120 kg/cm <sup>2</sup> / $\geq 0.4\sigma_c'$	$\sigma_c'$ : 架設荷重載荷時のコンクリート強度 (kg/cm <sup>2</sup> )

注) 上表以外の荷重の組み合わせの場合でも、割増率は 65% をこえてはならない。

#### 第 6 章 設計計算に関する一般事項

(1) 構造物の変形および断面力は、弾性計算によってこれを求めるのを原則とする。

(2) 構造物の変形および断面力の計算では、ヤング係数および断面二次モーメントをつぎのようにとるものとする。

##### a) ヤング係数

鋼材	ヤング係数 ( $E_s$ )	コンクリート	
		$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 ( $E_c$ )
$E_s = 2.1 \times 10^6$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ck}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	240	300
	ヤング係数 ( $E_c$ )	$2.7 \times 10^5$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$3.0 \times 10^5$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	$n$	7.8	7.0

応力の種類		コンクリート強度 $\sigma_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		行	
		240	300 以上		
曲げ圧縮応力度	曲げモーメントのみ	$\sigma_{ca} = \frac{\sigma_{ck}}{3} \leq 100 \text{ kg/cm}^2$		2	
	曲げモーメントおよび軸圧縮力あるいは、軸圧縮力のみ	$\sigma_{ca}(1-15\rho_{ss}')$		3	
せん断力 断面	コンクリートだけで斜引張応力を受けさせる場合	せん断, およびせん断とねじり	7.0	8.0	4
	斜引張鉄筋および鉄骨を無視して計算した場合	せん断, およびせん断とねじり	20	22	5
付着力 着度	形鋼, 鋼板		6**	7**	6
	異形鉄筋		16	18	7
支圧応力度		$\leq 0.3\sigma_{ck}$		8	

注) \*  $\rho_{ss}'$  は圧縮側鋼材比を示す

\*\* 形鋼, 鋼板の下面およびコンクリートの充てんしがたい部分を除く。

## b) 断面二次モーメント

断面二次モーメントは、鋼材の影響を考慮した部材全断面積について計算する。この場合、 $n$ の値は上表の通りとする。ただし、部材の剛比計算に用いる断面二次モーメントは、鋼材の影響が少ない場合にはコンクリートの断面について計算してよい。

### (3) 断面の決定または応力度計算上の仮定

SRC 断面の許容断面力は、つぎの仮定を用いて計算される鉄骨部分および鉄筋コンクリート部分の許容断面力の和として算定できる。

- a) 鉄骨部分は座屈しない。
- b) 鉄筋コンクリート部分については
  - i) コンクリートの引張強度は無視する。
  - ii) コンクリートのヤング係数 ( $E_c=1.4 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ ) と鉄筋のヤング係数比  $n$  を 15 とする。
  - iii) 維ひずみは断面の中立軸からの距離に比例するものとする。

## 第7章 部材の算定

(1) 曲げモーメントのみを受ける部材は下式によって算定する。

$$i) M \leq M_r + M_s$$

$M$ : 設計曲げモーメント

$M_s$ : 鉄筋コンクリート部分の許容曲げモーメント

$M_r$ : 鉄骨部分の許容曲げモーメント

(2) 曲げと軸方向力を受ける対称断面の部材は下式によって算定する。

$$i) N \leq N_{rc} \text{ または } M \geq M_{s0} \text{ のとき (曲げに比して軸方向力の影響が少ない場合)}$$

$$\left. \begin{array}{l} N \leq N_r \\ M \leq M_{s0} + M_r \end{array} \right\}$$

$M, N$ : 設計曲げモーメント, 設計軸方向力

$M_{s0}$ : 鉄骨部分が曲げモーメントだけを受ける場合の許容曲げモーメント

$N_{rc}$ : 鉄筋コンクリート部分が軸方向力のみを受ける場合の許容圧縮力

$M_r, N_r$ : 鉄筋コンクリート部分が圧縮力と曲げモーメントを同時にうける場合の許容曲げモーメント, 許容圧縮力

$$ii) N > N_{rc} \text{ または } M < M_{s0} \text{ のとき (曲げに比して軸方向力の影響の多い場合)}$$

$$N \leq N_{rc} + N_s$$

$$M = M_s$$

$M_s, N_s$ : 鉄骨部分が圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける場合の許容曲げモーメント, 許容圧縮力

(3) 以下せん断, 付着関係は省略

## 第8章 ラーメン隅角部の設計

ラーメン隅角部は、はりの曲げモーメント、せん断力を柱に伝えることができるように設計し、その許容断面力は鉄骨と鉄筋コンクリートの許容断面力の和として算定する。

### 第9章 定着部の設計

(1) 定着部の許容断面力は、鉄骨と鉄筋コンクリートの許容断面力の和として算定する。

ただし、アンカー ボルト、ベース プレートの設計は、鉄骨の許容断面力によるばかりでなく、必要なら鉄筋コンクリートによって分担される軸力も考慮しなければならない。

(2) 定着部での応力の伝達が円滑に行なわれ、その部分が十分に安全であるよう、構造の詳細についての検討を行なわねばならない。

### 第10章 構造細目

(1) かぶり

a) 鉄骨に対するコンクリートのかぶりは 10 cm 以上としなければならない。

b) 鉄筋に対するコンクリートのかぶりは 3 cm 以上としなければならない。

(2) 以下省略

### 第11章 雑則

(1) 部材断面の閉そく率 ( $q=F/A \times 100$ ) は 40% 以下となるのを原則とする。

$q$ : コンクリートの流動方向に直角な特定の断面における閉そく率 (%)

$A$ : その断面における型わく内のり断面積 ( $\text{cm}^2$ )

$F$ : その断面を閉そくする鋼材の全投影面積 ( $\text{cm}^2$ )

(2) 以下省略

以上の基準の考え方の主たる点について、関連して行なった実験の結果と平行して、(2) 以下で解説して行きたい。

### (2) SRC 部材設計の基本

累加強さ法による設計式は

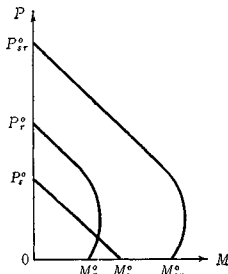
- 1) 設計式が簡単であり、
- 2) 鉄骨式計算法と鉄筋コンクリート式計算法の間中性質をもち、使用鋼材中の鉄骨の占める割合に応じて、安全率の調整を自動的にする。

が、各荷重段階における構成材料の応力度の推定には合理性はなく、従来の許容応力度方式とは、この点で根本的に異なる。したがって、累加強さ法の意味、破壊に対する安全率、設計荷重時における問題点等を実験結果を参考にしながら検討して行く。

累加強さ法の妥当性は、終局強度論による、「鉄骨部分の荷重域と鉄筋コンクリート部分の荷重域とのベクト

ル和の中では、これらを合成した SRC は安全である」という定理によっている。これを柱の設計式に応用してみる。曲げモーメント  $M$  と軸方向力  $P$  を受ける柱の終局強度式は鉄骨構造では 図-5 の  $M_s^0, P_s^0$  直線、鉄筋コンクリート構造では  $M_r^0, P_r^0$  曲線である。この範囲は荷重域であるから、SRC 構造ではこの二つの荷重域のベクトル和  $M_{sr}^0, P_{sr}^0$  曲線を設計式として採用してよいわけである。以上のように、累加強さ法の考え方は終局強度を対象としたときのみ成立するものであって、強度の累加は成立するが、応力分布の累加は成立しない。したがって、許容応力度方式による設計法とは別個のものであることに注意しなければならない。

図-5



SRC 部材の終局強度は既往の研究<sup>3)</sup>によって、鉄骨を鉄筋とみなして鉄筋コンクリートの終局強さ式<sup>5),6)</sup>によって計算できることがわかっている。比較的大型の試験けた 4 本の実験結果<sup>4)</sup>を表-3 に示してあるが、この表からも前述のことが明らかである。この部材の終局強度に対して、累加強さ式で計算した値が、どれほどの安全率を有するか調べ、部材が地震の影響を考慮した最大荷重時に、破壊に対し 1.0 以上の安全率を有する許容応力度の割増率を検討した。RC 終局強度式で求めた断面力  $F_u$  と、一般の土木分野で用いられている許容応力度を用いて累加強さ法によって求めた断面力  $F_a$  との比  $F_u/F_a$  は、鉄骨量と鉄筋量の比 ( $A_{ss}/A_{sr}$ ) と、荷重状態 (軸方向力の偏心量の値) によって変わってくるが、 $A_{ss}/A_{sr}$  が 1/4~4 の間では 1.65 以上であった。一方、

表-3 抵抗曲げモーメント (t-m)

試験けた	実測値 (t-m)	計算値 (t-m)			ACI 法 (ウェブ考慮)
		図式解法 (鉄骨ウェブ考慮)	$\sigma_{cu}$	e 関数法	
C	32.8	34.7	34.4	27.2	30.5
D	37.0	39.5	39.1	33.1	35.7
E	42.5	43.9	43.4	37.0	40.5
F	29.0	31.0	29.9	23.9	28.1
(実測値/計算値)の平均		0.94	0.96	1.18	1.04

表-4 最大ひびわれ幅 (mm)

試験けた	鋼材応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	最大ひびわれ幅 (mm)	
		計算値	実測値
C (SRC)	1460	0.147	0.123
D "	1440	0.135	0.123
E "	1410	0.157	0.179
F "	1500	0.118	0.088
G "	1870	0.187	0.244
H (RC)	1600	0.098	0.195

累加強さ法で、許容応力度を 1.65 倍した値を用いて算定した断面力は  $F_u$  よりも少であった。したがって応力度の割増率を 65% としても、破壊に対する安全率は 1.0 以上を確保していることになる。

つぎに、設計荷重時の SRC の問題点はきれつ幅である。これに対して、6 本のけたで行なった実験結果を表-4 に示す。G けたは SRC, H けたは G けたと同一の諸元をもち、鉄骨を鉄筋に置換えたもので RC である。この二つの比較では、SRC けたの方がきれつ幅がやや大である。耐久性の面から、最大きれつ幅を 0.2~0.3 mm 程度を限度とすると、鉄骨の応力度は 2000 kg/cm<sup>2</sup> 以下となるであろう。したがって、きれつ幅を減少させる手段を講じなければ、60 キロ鋼等の高強度鋼材の有効な使用はできなくなる。

柱のように、比較的大きな軸圧縮力をとまう場合には、コンクリートの充てん度の低下、鉄骨によるコンクリート断面の補正、コンクリートの圧潰で耐力が決まる場合は脆性破壊を起こすので、安全率を大きくとることなどの理由で、コンクリートの許容圧縮応力度は断面圧縮部の鉄骨量に応じて低減したものを用いるべきである。

以上の事項を考慮し、さらに他の関連示方書<sup>7)</sup>と余り差が生じないように注意し、許容応力度、設計計算に関する一般事項、部材の算定に関し規定したものが 3.(1) の基準 5 章~7 章である。

SRC 構造では設計荷重時の応力度は余り問題にしないが、これを求める必要がある場合は、鉄骨を鉄筋に換算し、 $n=15$  として求めることができる。しかし、実験の結果では、圧縮側鋼材、コンクリートの応力度は実測した  $n$  値を用いて算定すると、より正確な値が得られるようである。

### (3) ラーメン隅角部

隅角部の設計においても、累加強さ法を用いる。したがって、はりの鉄筋コンクリートの応力は柱の鉄筋コンクリートへ、はりの鉄骨応力は柱の鉄骨へ伝達させる構造としたい。ラーメン不静定量の算定、隅角部の設計断面位置、鉄筋コンクリート ラーメン隅角部の設計法は RC 示示<sup>7)</sup> 7 章の規定にしたがう。隅角部における鉄骨の応力状態は不明確で、鉄骨と鉄筋コンクリートの応力分担割合もはっきりせず、隅角断面を決定する断面力の取り方も明らかでないが、累加強さ法の採用を前提とした鉄骨部材の設計法を考えてみたい。累加強さ法で計算すると、鉄骨のはりせん断力 ( $S_s$ ) と柱軸力 ( $N_s$ ) はお互いに独立に計算されるから、その値は等しくならない。そこで、断面決定法と部材の剛性、応力度分布の関係を調べる目的でつぎの 4 つの方法によって定められる

断面を持つ隅角部の供試体について曲げ試験<sup>6)</sup>を行なった。

- 1) フランジ、ウェブとも慣用計算により定める。特別に隅角部の計算は行なわない(供試体名: N, R けた, フランジ厚さ 13 mm, ウェブ厚さ 4.5 mm)。
- 2) はりの  $S_x$  と柱の  $N_x$  のうち大きい方(通常は  $S_x$ )を柱の軸力(はりのせん断力)にとり, この軸力と鉄骨分担モーメントを断面力として「直応力はフランジが分担し, せん断力はウェブが分担する」<sup>9)</sup> ようにそれぞれの板厚を定める。この際の許容せん断応力度は  $\tau_u = 0.45 \sigma_a$  とする (P けた, フランジ 16 mm, ウェブ 16 mm)。
- 3) 鉄骨の分担モーメントと柱の  $N_x$  から 2) と同様な方法でフランジおよびウェブの板厚 ( $t_1$ ) を定め, ついで, ( $S_x - N_x$ ) に抵抗するウェブの板厚 ( $t_2$ ) を定め,  $t_1 + t_2$  をウェブ板厚とする (O けた, フランジ 15 mm, ウェブ 25 mm)。
- 4) フランジ板厚は 1) と同じで, ウェブ板厚を 2) で決定したものとする (Q けた, フランジ 13 mm, ウェブ 16 mm)。

実験から得

られた荷重一たわみ曲線と, ウェブのせん断応力度の一例を図-6, 7 に示すこの結果から, つぎの考察を行なった。

図-6 SRC 供試体のたわみ

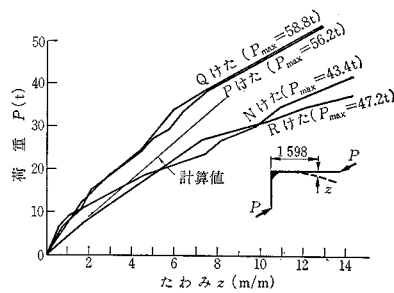
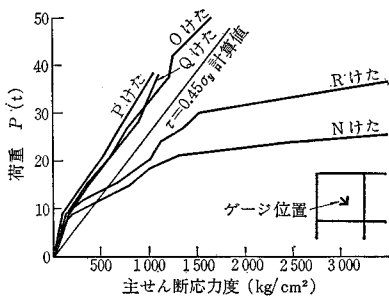


図-7 鉄骨ウェブの主せん断応力度



1) N, R けたでは, 隅角の剛性が低く, ウェブのせん断降伏は早期におこる。鉄骨がコンクリートで十分に囲まれた場合でも, 何らかの鉄骨補強は必要である。

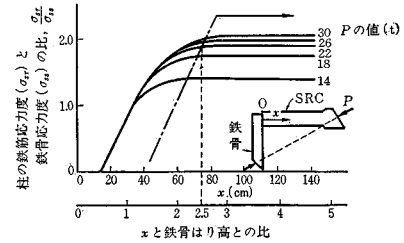
2) P けたと Q けたと実験結果は似ているから, 鉄骨の補強はウェブにおいて特に重要である。

実験の供試体本数が少ないこと, O けたの実験結果が十分に得られなかったことなどから, ここで, 一般的な結論を述べることは早計であるが, 以上の考察から, 3)

の設計法は一応, 安全側の解答を与えよう。この方法の実際の計算式は公団 SRC 基準<sup>2)</sup> 8 章解説に示してある。

2.(2) に例示した構造物の隅角についても実験<sup>8)</sup>を行ない, はりの鉄骨の応力の一部が, 柱の鉄筋コンクリートに伝達され, 柱が SRC 構造としての力学的挙動を示す範囲を調べた。この結果は 図-8 に示す通りであり, この応力伝達に必要な長さは鉄骨はり高の大略 2.5 倍となった。したがって, 隅角部取付位置から, この範囲内では, 応力伝達を良好にする手段を構じないかぎり鉄骨断面のみで設計計算を行なわねばならない。

図-8



#### (4) 閉そく率

SRC 構造では鋼材がきわめて密に配置されており, コンクリートの充てんは他の構造形式より一層困難である。したがって, コンクリートの充てんを抑制する指数として, 横山<sup>10)</sup>の研究による“閉そく率”を用い, これに制限値を与える。

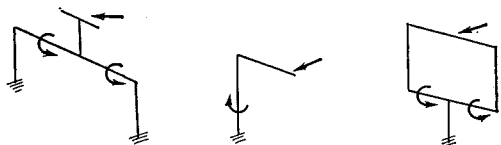
型わく内に投入されたコンクリートの充てん性は, 一般に,

- 1) コンクリートの流動をさまざましようとする断面内の鋼材密度
  - 2) まだ固まらないコンクリートの性質
  - 3) 打設方法
- 等によって左右される。

これらのうち, 1)の抑制条件の強さは, 閉そく率によって推定でき, しかもこの条件は, 主として, 設計の段階でまず最初に決まり, 他の 2 条件に先行かつ支配的な影響をもっているので重要である。

閉そく率と充てん度の関係を既往の実験結果を用いて検討した結果, 閉そく率の限界値は 45~60% 程度と推論されている。しかし, 土木構造物では比較的硬練りのコンクリートを用いるので, 安全をみて閉そく率を 40% 以下とするのがよいと思われる。

図-9



#### (5) ねじりについて

提案した基準には, ねじりに対する規定はないが, 図

—9 に示すような構造では、地震時の水平力により、柱あるいは横ばりにねじりモーメントが作用し、それに対する挙動が設計上問題となることがある。しかし、現在のところ SRC 部材のねじりに関する実験あるいは研究はほとんどない。したがって、この問題に対する設計上の基礎資料を得る目的で、SRC 3 本、RC 1 本、鉄骨 1 本の計 5 本の供試体を作製し、純ねじりに近い状態で実験<sup>11)</sup>を行なった。

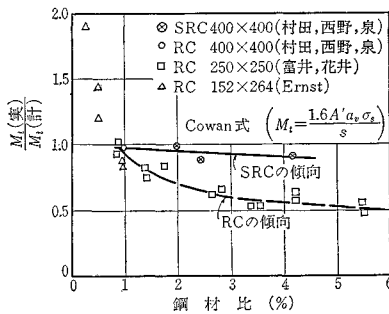
実験結果の主なものを述べるとつぎのようになる。

1) きれつ発生荷重は、鋼材の影響を無視し、コンクリートを弾性体と仮定して求めた値と、塑性体として求めた値とのほぼ中間であったが、きれつ発生の状態から判断して、弾性体に近い挙動を示しているものと思われる。

2) SRC 供試体のねじり強度は、鉄骨を鉄筋の一部とみなし、Cowan の式<sup>12)</sup>を適用して求めた値とほぼ一致した。しかし、鉄骨の形状、鉄骨と鉄筋の比率によって、この値は RC けたの 50% から本実験の 90% 程度まで変化するものと考えられる。図—10 にこの関係を他の RC けた実験例とともに示してある。

3) ねじりに関する部材の設計についても、累加強さ法が適用可能であるが、これについては、なお、多くの実験が必要である。

図—10 破壊荷重の実験値と計算値 (Cowan 式) の比較



#### 4. 結 論

橋脚に SRC 構造を採用することにより、これらの設計および施工を都市内土木工事の持つ特殊な立地条件を満たして、安全で経済的に行ない得る。この際、下記の事項を考慮することが肝要である。

- 1) 鉄骨量と鉄筋量の比が 1/4~4 程度であれば、一般の土木材料の許容応力度を用いた累加強さ法を用いて、曲げおよび偏心軸方向力を受ける SRC 部材は破壊に対して 1.65 以上の安全率で設計できる。
- 2) 耐久性から鋼材の許容応力度は 2000 kg/cm<sup>2</sup> 以下とするのがよい。
- 3) 隅角部の鉄骨断面の補強はウェブにおいて特に重要である。
- 4) はりが鉄骨のみで、柱が SRC 構造となる構造物の

隅角部付近での柱部材は、隅角部取付位置より鉄骨はり高さの約 2.5 倍以内では SRC 部材としての力学的挙動を示さない。

- 5) SRC 部材のねじりによるきれつ発生荷重は弾性理論による式で推定でき、ねじり強度は Cowan の式を用いて、ある程度推定できる。

しかし、つぎに示すように未解決な問題は多い。

- 1) 設計計算の基本事項は弾性計算、しかるに、部材の設計計算は終局強度的な考え方による不統一。
- 2) 隅角部、ねじり、疲労、クリープなどに対する設計法で不明な点が多い。
- 3) 高強度鋼材の有効な利用、軽量コンクリートの活用等の材料における問題。

以上に述べた諸点の解決のため、さらに実験研究を進め、SRC 構造の土木の分野でのより広い適用面をひらいて行く必要がある。

おわりに、本報告中に引用した鉄骨鉄筋コンクリート設計基準は、首都高速道路公団コンクリート分科会の山田先生を始めとする諸先生方のご審議、ご指導の下に作成されたものであり、実験は、都立大学村田先生のご指導、研究室の方々ならびに川崎重工(株)設計課 松崎、国広両氏のご協力によってなされたことを付記し、ここに深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準，同解説，1963 年改
- 2) 首都高速道路公団工務部：鉄骨鉄筋コンクリート設計基準，昭和 42 年 3 月，(公団 SRC 基準)
- 3) たとえば，若林 実：鉄骨鉄筋コンクリートに関する実験的研究，東大生研報告，第 6 巻第 2 号
- 4) 村田・西野・泉・関川：鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) はりの曲げ特性，第 22 回年次学術講演会，土木学会
- 5) 梅村 魁：鋼筋コンクリート梁の塑性変形および終局強度，日本建築学会論文集，No. 42，1951. 2
- 6) Report of ASCE-ACI joint Committee on Ultimate Strength Design, Proc. of ASCE, Vol. 81, No. 809, Oct. 1955
- 7) たとえば，土木学会：コンクリート標準示方書，昭和 42 年版  
日本道路協会：鉄筋コンクリート道路橋設計示方書 (RC 道示)，昭和 39 年
- 8) 村田・西野・山寺：鉄骨鉄筋コンクリート部材隅角部の設計について，第 22 回年次学術講演会，土木学会
- 9) Beedle, L.S.: Connection for Welded Continuous Portal Frames, Welded Research Supplement, 1951.
- 10) 横山不学：コンクリートの充てん性の限界および不十分な充てんにもとづく組織的欠かんの防止，建築技術，1959.12，1960.1
- 11) 村田・西野・泉：鉄骨鉄筋コンクリート部材の振りについて，第 22 回年次学術講演会，土木学会 (講演当日一部訂正)
- 12) 狩野・泉：コンクリート部材の振りについて (1)，(2)，コンクリート・ジャーナル，1966. 1，1966. 3~4

(1967. 8. 1・受付)