

## 逆V型立体ラーメン鋼脚隅角部実験について

—首都高速道路5号線池袋附近下部工構造について(その4) —

首都高速道路公団 正員 西野祐治郎

○ ク フ 小村 敏

ク フ 山寺 徳明

東京大学 大学院 学生員 山下 清明

三菱重工神戸造船所 正員 湯治 秀郎

## 1. はしがき

首都高速道路5号線池袋ロータリー附近の交通渋滞は甚しいものがある。この交通困難は、高架道路を建設するだけで解決できず、踏切閉塞時間の長い国鉄線を含めて街路を立体交差化しなければ解決しない。そこで建国協定に基き街路の立体交差が同時に計画され、公団が受託、同時施工を行なうことになった。橋脚の位置、大きさが制限される場所で、高速道路、立体交差街路の地震力を同時に受けろ高橋脚を設計することは、非常に困難であり高速道路の地震力は、集中方式で、剛な橋脚にどうせることが立案された。そしてこの橋脚の形状を種々検討の結果、新しい都市美を依りだす逆V型の立体ラーメン橋脚を採用することにした。

本橋脚は構造的に安定な三角形柱脚を有するため、地震力は、ほとんど、柱脚の軸力と振りとなるため、板厚は極めて薄くなり、溶接加工性はよくなる。しかし、両柱脚と梁とが接合する隅角部のフランジ、ウエブ、ダイヤフラム等には、複雑な応力分布が予想され、理論解析は容易ではない。そこで実験により、強度をチェックすることとし、奥村の理論より誘導した式を用いて模型を設計し、実験値との対比を行ない、設計式の実用性を検討することとした。

## 2. 奥村の理論より誘導した設計式

まず隅角部を三つの場合、(1)垂直面に投影した場合、(2)水平面に投影した場合、(3)三角形と考えた場合とに分け、隅角部を構成する各板について応力計算できるものとした。この場合に必要な入力としての断面力は、変形法により立体ラーメンとして求めたものである。

## (1) 隅角部を垂直面に投影した場合(図-3)

$$F_{01} = \frac{N}{2} + \frac{M_Z}{Bw}$$

$$F_{02} = \frac{N+N''}{2} \sin\theta - \frac{S'_y - S''_y}{2} \cos\theta + \frac{M'_y + M''_y}{Cw} \sin\theta$$

$$\pm \frac{T'-T''}{Cw} \cos\theta$$

$$S_I = -\frac{S_y}{2} + \frac{T}{Bf}$$

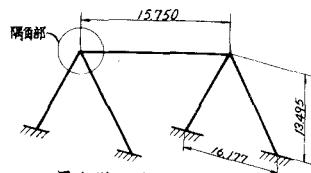


図-1 逆V型立体ラーメン

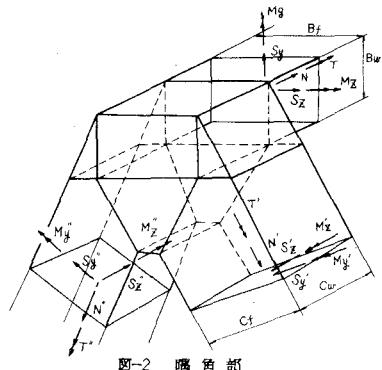


図-2 隅角部

$$S_2 = -\frac{S'_z - S''_z}{2} + \frac{T' + T''}{C_f}$$

で断面力を求め、応力度計算を行なう。ただし、フランジ応力度は、通常の応力度のほかに次式による Shear lag による応力度を加える。

$$\sigma_s = \frac{B_f}{B_w} \cdot \frac{W}{A_w} \cdot S_o$$

ここで、 $A_w$ はウエブ断面積、 $W$ はせん断力、 $S_o$ は Shear lag 比係数で  $R = 6A_f/A_w$  の函数で図表より求められる。

(2)隅角部を水平面に投影した場合、および、(3)隅角部を三角形と考えた場合についても同様の考へて、図-4、図-5に示す構造系で式を誘導できる。

### 3. 実験方法

実験は、実物の1/2縮尺の鋼製模型で行ない、載荷法は梁に対する一挙集中荷重(図-9)とし、鉛直方向載荷には、圧縮油圧ジャッキを用い、ロードセルで荷重強度を測定、橋軸方向(水平方向)は、PC鋼線を引張油圧ジャッキで緊張し、圧力計で荷重強度を測定した。歪、変位はストレーンゲージ、ダイヤルゲージで、各々計測した。なお、実験装置は東大工学部附属大型構造物試験室のものを使用した。

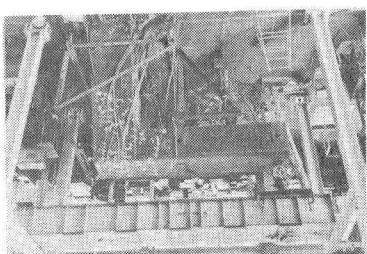


図-6 鉛直方向載荷状態

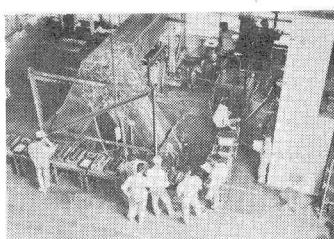


図-7 橋軸方向載荷状態

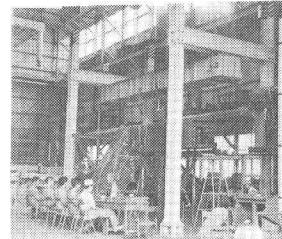


図-8 橋軸直角方向載荷状態

実験値を実物に適用するために、曲げによる応力度とせん断による応力度とを分離する必要がある。このため実験においては、図-9のごとく、載荷点を変化させることにより

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = \alpha Q_1 + \beta M_1 \\ \sigma_2 = \alpha Q_2 + \beta M_2 \end{array} \right.$$

の式から、実験定数、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、が求められ、これにより単位せん断力、単位曲げモーメント当りの応力度が求められる。これに実物に載荷される外力により生じる断面力を乗じ、断面比で修正すれば、実物の各断面力(せん断力、曲げモーメント)により影響をうける応力度が求まる。実際の外力による断面力には、軸方向力、捩りモーメントによるものもあるので、これらへの考慮も必要である。し

かし、換りモーメントについては、載荷方法が難かしいので割愛した。軸方向力に対しては、実験結果から、実験定数 $\alpha$ を求め、実際の軸方向力を乗じ、断面比で修正し、実物の軸方向力に影響される応力度を求める。最後に、これらを加算すれば、加えられた外力に対する実物の応力度が求められる。すなわち、実物の応力度は、

$$\sigma_{xi}^I, \sigma_{yi}^I, T_{xyi}^I = \alpha_i \cdot \beta_A \cdot Q^I + \beta_i \cdot \beta_B \cdot M^I + \gamma_i \cdot \beta_R \cdot N^I$$

となる。

ここで、 $\beta_A = \beta_R = A_M / A_I$ ,  $\beta_B = A_F^M \cdot d^M / A_F^I \cdot d^I$ , サフィックス $I$ ,  $M$ は実物断面、模型断面を示す、 $A_F$ はフランジ断面積、 $d$ は梁の高さを示している。

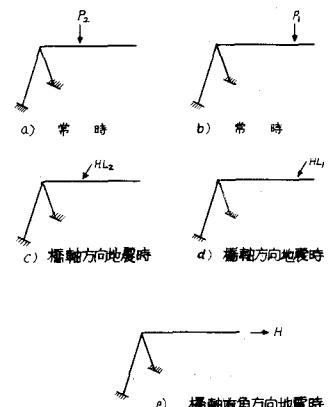


図 9 載荷状態

#### 4. 実験結果

実験結果より推察できることを列記する。まず鉛直方向載荷の場合、

- (1) 隅角部近傍の梁の内側フランジには、Shear lag の影響力が著しく、応力集中の傾向が顕著である。また、隅角部内のウエブには、せん断力の正負があらわれ応力の乱れがみられる。(図-10)
- (2) 設計値と実験値を比較すると、全般的に設計値が大きく定性的な傾向はほぼ一致する。しかし數値的には、かなりの開きがあり一致しているとは言いがたい。(表-1)
- (3) 設計値が大きく出るのは、この設計方法では、曲げ応力をすべてフランジにとし、応力をフランジのみの断面積で計算したためであり、鉛直方向載荷の場合には、設計計算に用いるには、非常にRoughではあるが、実用性ありと言えるようである。

次に、橋軸方向(水平方向)載荷の場合は、

- (1) 隅角部近傍では、柱脚の拘束の影響が著しく、梁の下側フランジおよびウエブに大きな応力が生じ、上側フランジは、それに比較して小さくあらわれている。(図-11)
- (2) 設計値と実験値とを比較すると、定性的にも、定量的にも傾向を論ずることができないほど乱れている。(表-2)
- (3) これは、この設計方向が、橋軸方向、すなわち面外応力に対して、構造の形状の特殊性を充分考慮するにいたらなかつたためであると思われ、全く別な観点からの応力解析が必要であると思われる。

最後に、橋軸直角方向載荷の場合は

- (1) 実験装置の載荷制限が、模型に比して小さかつたためと、柱脚の剛性が大きすぎたこととて、ある部分に対しては、載荷によるものか、測定誤差によるものか、判別しにくい程度の歪しか測定できず、全般的な傾向を把握するまでにいたらなかつた。

上記の実験結果のごとく、具体的に傾向を論ずることができなかつたのは、まず行なうべき理論解析が、難解であつたため省略したことでもあるが、この構造のごとく、各板が複雑に組合つていること、ものでは、実際的にミクロ的な解析は極めて難かしく大きな仮定が必要と思われる。次に、実験値と設計値との比較、ならびに、応力分布の一例を図表で示すことにする。

測定面 応力値	梁上部万ゲージ(A面)		梁下部万ゲージ(A'面)		梁ウエブ(C面)		梁エンド(C'面)		柱脚側万ゲージ(B面)		柱脚側万ゲージ(B面)		柱脚ウエブ(D面)		柱脚ウエブ(D面)	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
$\sigma_x \max$	927	1432	983	1432	967	0	967	0	574	1112	914	1112	760	164	760	164
$T_{xy} \max$	170	0	333	0	575	844	488	844	144	244	224	259	537	—	579	—

表-1 実験値と計算値の比較(鉛直方向載荷の場合) 単位  $\text{kg/cm}^2$

測定面 応力値	梁上部万ゲージ(A面)		梁下部万ゲージ(A'面)		梁ウエブ(C面)		梁エンド(C'面)		柱脚側万ゲージ(B面)		柱脚側万ゲージ(B面)		柱脚ウエブ(D面)		柱脚ウエブ(D面)	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
$\sigma_x \max$	752	0	930	0	1315	2251	760	2251	248	1074	343	1074	665	234	665	234
$T_{xy} \max$	456	963	842	500	472	696	357	696	460	151	1095	130	266	—	266	—

表-2 実験値と計算値の比較(橋軸方向載荷の場合)

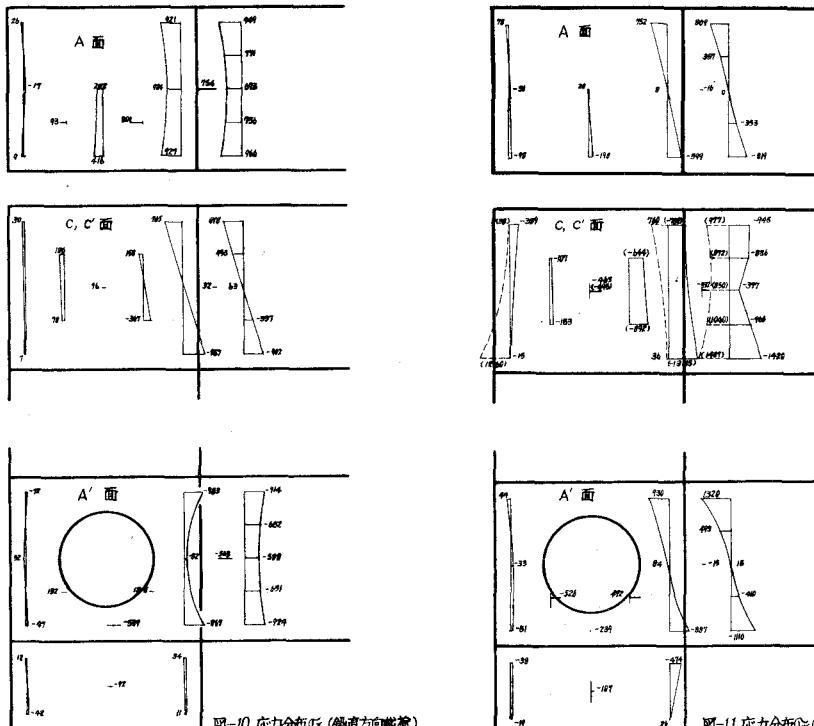


図-10 応力分布 $\sigma$ (鉛直方向載荷)

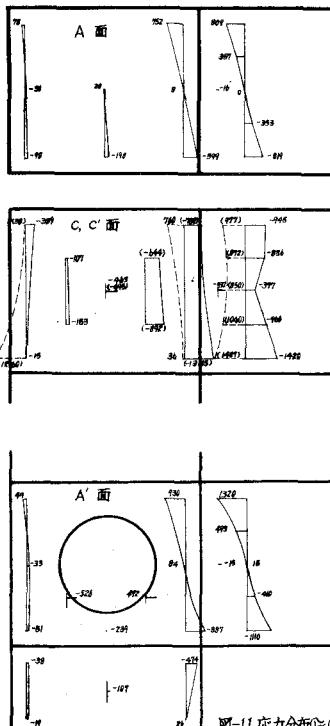


図-11 応力分布 $\sigma_0$ (橋軸方向載荷)

## 5. まとめ

実験結果より、明白な傾向を把握するにはいたらなかつたが、本結果の実物への適用は、実験値が設計値を上回る部分、また、局部的に応力集中の可能性のある部分は補強し、製作することとした。引き続いて現在この部分を理論化する意味で、断面を構成する各板を薄肉 Scheibe と仮定し、有限要素法で応力解析を行っており、この一般的な解析結果については別の論文で発表する。

本実験は模型を横河橋梁で製作し、東大大型構造物試験室で載荷試験を行なつたが、実験に御指導、御助言をいただいた東大奥村教授、西野助教授、模型の設計および実験に御協力いただいた横河橋梁小田裕英氏に心より感謝の意を表します。