

I-145 開口部を有する荷重分配横桁の実験報告

大阪市立大学 正員 中井 博
阪神高速道路公団 正員 ○古池 正宏
日立造船(株) 正員 牛尾 正之

1. まえがき 格子桁の荷重分配横桁に検査路用開口部(マンホール)を設ける場合、荷重分配効率の低下、および横桁の強度的諸要素の劣化として、(1) 開口部周辺の隅角部の応力集中、(2) 開口部周辺のウェブの座屈強度の低下、(3) 桁としての極限強度の低下などが問題となる。これらを防止する補強方法について実験を主体とする検討を行ったので報告する。

2. 補強策に対する数値解析検討

2-1 ウェブ板厚増加およびその範囲 阪神

高速道路公団で設計されている単純合成I桁の荷重分配横桁は、表-1に示すA~Fの横桁の範囲にある。マンホールの寸法は、検査路用としての機能を考慮して、 $600^{\text{mm}} \times 600^{\text{mm}}$ とした。開口部周辺の板厚は横桁高さが最小の場合($2H=1200^{\text{mm}}$)でも残存断面積が原断面積の値を確保するように一般部の2倍とした。また、増厚幅 $2b$ については、表-1のA,C,Eを対象に $2b/2a=1.5, 2.0, 2.5$ の場合について有限要素法により数値計算したが、曲げモーメントおよびせん断力に対して応力状態、たわみ特性ともに、大差なかったので(一部表-2参照) $2b/2a=2.0$ とした。すなわち、増厚幅はマンホール幅の2倍とした。

2-2 穴周辺の座屈防止策 マンホール周辺のウェブの座屈に対しては、2-1の増厚法に加えて、周辺にリブを設置すれば十分防止できると考えられたので、その形状については後述する実験から判断することとした。

2-3 隅角部の応力集中の緩和策 応力集中を緩和するために隅角部は円弧とした。表-2

に、その曲率半径Rの最適値を決めるために行なった有限要素法による計算結果を示す。平均せん断応力に対する隅角部C点での緑応力の最大値 σ_c の比を $\sigma_c/\sigma_{\text{mean}}$ で示しているが、これが応力集中係数に相当する。また、設計荷重のもとでの実橋横桁の平均せん断応力を計算すると、表-1の横桁の範囲内では、すべて 400 kg/cm^2 以下であった。したがって、 $\sigma_{\text{mean,max}}=400$ として実橋での σ_c を推定すると、表の右端の欄ようになる。

2-2で述べたリブも、この応力集中緩和に効果があると考えられるが、有限要素法の計算ではその影響を詳細に再現できないので省略した。また、開口部が横桁の中立軸附近に配置されているため、曲げモーメントによる応力集中現象は微々たるも

表-1 横桁モデル一覧

主桁スパン	$l=25^{\text{m}}$		$l=35^{\text{m}}$		$l=45^{\text{m}}$	
	A	B	C	D	E	F
2L	2300	3600	2300	3600	2300	3600
2H'	1550		2000		2500	
2H	1200		1650		2150	
2a		600				
2h	H stiff	なし	990		1290	
2c	850	1200	850	1200	850	1200

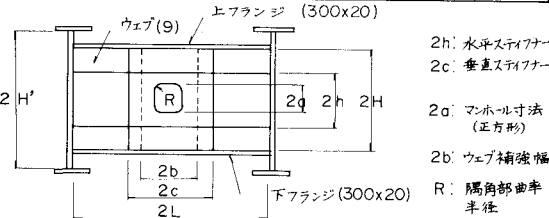
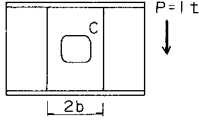


表-2 最大穴縁応力 σ_c ($l=25^{\text{m}}, 2L=2300$)

$2b/2a$	R (mm)	σ_c (kg/cm ²)	$\sigma_c/\sigma_{\text{mean}}$	実橋での σ_c 推定値 (kg/cm ²) ($\sigma_{\text{mean}}=400$)
1.5	100	65.8	7.11	
	100	63.1	6.82	2730
	150	54.8	5.92	2370
	200	46.1	4.98	2000
2.0	250	38.9	4.20	1680
	100	62.1	6.71	

$\sigma_{\text{mean}}: P=1t$ 当りの
原断面での
平均せん断応力



$2a=600, 2H=1200$

表-3 鋼板の機械的性質(1号試験片による)

板 厚	材 質	下降伏点 (kg/cm ²)	引張極限強さ (kg/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^6$ kg/cm ²)	ポアソン比 ν	伸び (%)	備 考
t=4.5 ^{mm}	SS41	3.210	4.560	2.17	0.26	30	ウェブ標準断面
t=9 ^{mm}		3.140	4.850	2.24	0.28	36	供試体Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ ウェブ,上下フランジ
		3.710	5.120	2.10	0.28	33	供試体Ⅳ ウェブ,上下フランジ

ので、せん断力の影響が卓越することを予備計算で確認していたので、ここでは集中荷重を中心に、横桁スパンの短い(2L=2300mm)場合を対象とした。

3. 実験とその結果 有限要素法の計算結果との対応とリブ補強の効果を検査することを主目的として、図-1に示す供試体を対象に載荷実験を行なった。

供試体はいずれも横桁2連分を1体として単純梁とし中央載荷した。縮尺は1/2である。実験は、日立造船(株)の400tアムスラー試験機等を使用した。いずれの供試体も弾性・破壊実験を行ない、供試体Ⅰのみは穴を開けたまゝとし補強効果の確認を目的に、供試体Ⅱ、Ⅲ、Ⅳはウェブ増厚のみの供試体で弾性実験を、次いでリブを付けて弾性・破壊実験を行なった。表-3は材料の機械的性質を示す。

図-2は、代表として供試体Ⅱにおけるウェブの曲げ応力、せん断応力、上(下)フランジの曲げ応力分布である。開口部をもつ梁においては、開口と梁の寸法関係によって応力状態が単純梁のそれと異なった様相を示すことが知られているが、本実験の供試体の寸法比では、開口の影響は顕著でなく図-2にみるように梁理論に近い垂直応力分布を示している。

図-3は、供試体Ⅰ～Ⅳの穴周辺縁応力分布で、図-2と比較すると、かなり大きいせん断変形による集中応力が生じていることがわかる。この集中応力は、リブにより左右される。

表-4は、リブの効果、リブ差による効果を示すもので、リブ取付前後の弾性実験結果の応答比で示され

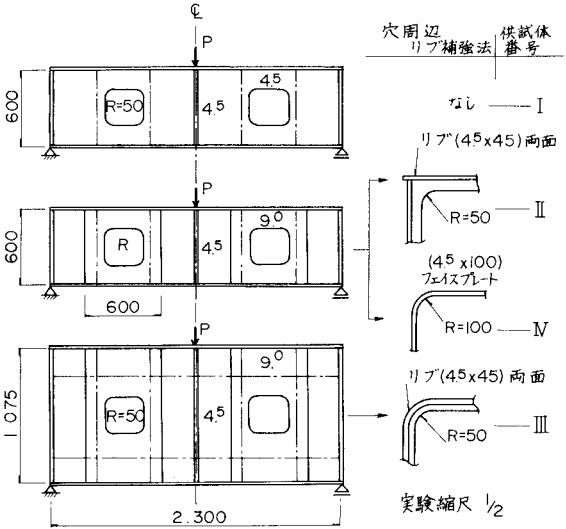


図-1 供試体一覧

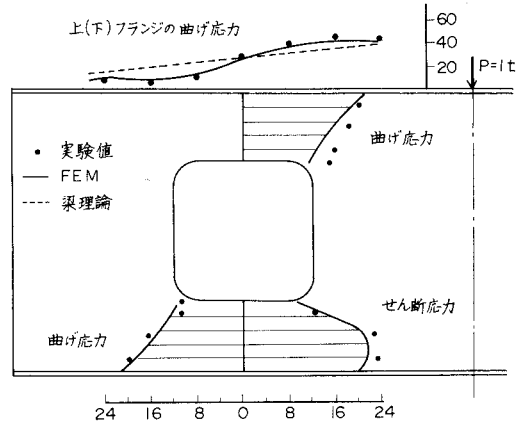


図-2 供試体Ⅱの応力分布 (kg/cm²)

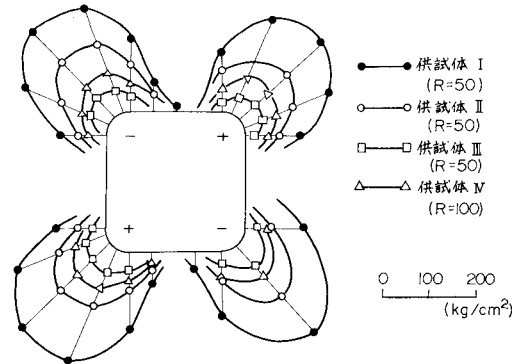


図-3 穴周辺応力分布(リブ補強前)

ている。これによってリブの効果およびリブの差異による効果が定性的によく示されている。特に、供試体ⅡとⅣとの比較は定量的にもほぼ妥当で応力と剛性との与えるリブ効果がリブ差によって異なっている点興味深い。

2-2で実橋での縁応力の最大を推定したが、この値には、リブの効果が入っていないかった。実験結果表-4より、フェイスプレートを設置した場合には、実橋横桁の推定縁応力は $0.7 \times 2000 = 1400$ (kg/cm²) と低下すること

表-4 穴周辺に設置したリブの効果
(リブなしに対する比: 実験から)

供試体	縁応力	たわみ (スパン中央)	備 考
Ⅰ	0.92	0.95	角形に配置
Ⅱ	0.82	0.92	穴周にそって配置
Ⅳ	0.71	0.97	フェイスプレート取付

より、曲率半径 $R=200\text{mm}$ 、フェイスプレートの採用が応力集中緩和に対して妥当と思われる。なお、ここでは梁断面におけるせん断応力分布についての開口部の影響は考慮してない。

次いで表-5は、集中荷重1t当りのスパン中央でのたわみ量で、また、梁理論での値は、開口・板厚増・リブ等のない原断面での均一梁

として計算したものである。これらの値より、曲げのみのたわみだけの考慮では実挙動と大きくずれることがわかる（図-4のたわみ曲線図参照）。

表-6は、破壊実験結果と計算耐力との比較である。また、写真1、2は、破壊状況を示したもので、補強の有無による破壊形式の差、ひいては、補強の効果が如実に示されていると言えよう。

4. 考察

以上の結果より、開口部（マンホール； $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ ）に対して、

- (1) 開口部周辺のウェブ板厚は原断面の2倍とする（基本的には、ウェブ残存面積を原断面積以上とする）、
- (2) 補強板厚幅を マンホール幅の2倍とする、
- (3) 開口部隅角部の曲率半径を 200mm とする、
- (4) 開口部周辺に 幅 $200\text{mm} \times 9\text{mm}$ のフェイスプレートをまく

などの補強策を講じれば安全であると思われる。

一方、荷重分配効率の低下については、せん断によるたわみまで考慮すれば、実験結果より

$$\text{梁理論} / \text{実験値} = 5.33 / 6.15 = 0.85$$

となり、横桁刚度、ひいては換算刚度 Σ が低下するが、荷重分配時の横桁や、主桁間の荷重分配効率への影響はほとんどないものと思われる。しかしながら、開口部の存在は上述のようなたわみ量の増加となり、床版への悪影響も考えられるので注意すべきと思われる。

なお、公団では以上の実験結果を基にして、開口部を有する横桁の設計基準を作成中である。

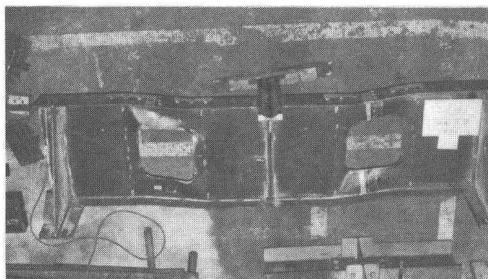


写真-1 供試体Iの破壊状況

表-5 スパン中央のたわみ（ $P=1\text{t}$ あたり）

		(x10 ⁻³ cm)			
供試体		I	II	III	IV
はり理論*	y_M (曲げによるたわみ)	3.44	3.44	0.91	3.44
	y_Q (せん断によるたわみ)	1.89	1.89	1.38	1.89
	$y_M + y_Q$	5.33	5.33	2.28	5.33
FEMによる計算値 (板厚変化、開口の影響考慮)		9.58	7.39	2.53	6.75
実験値 (()内は補強後)		10.67	7.50 (7.13)	2.55 (2.45)	6.35 (6.15)

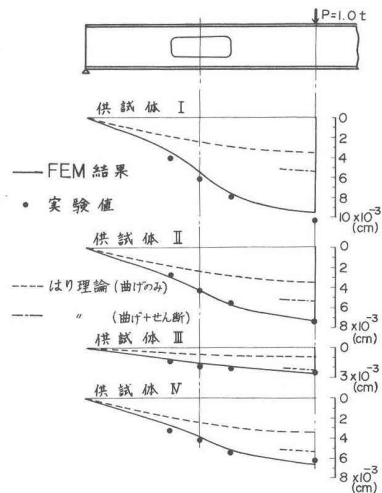


図-4 たわみ曲線（実験結果）

表-6 破壊実験結果

供試体	$P_{y.cal}$ (t)	$P_{B.exp}$ (t)	崩壊状況
I	61.8	33.0	穴周辺の局部座屈
II	61.8	67.7	上フランジの局部座屈 (参考)
III	134.0	110.0	"
IV	73.2	75.0	"

$P_{y.cal}$: 降伏荷重, 実験降伏点より計算。

$P_{B.exp}$: 最大荷重 (実験値)

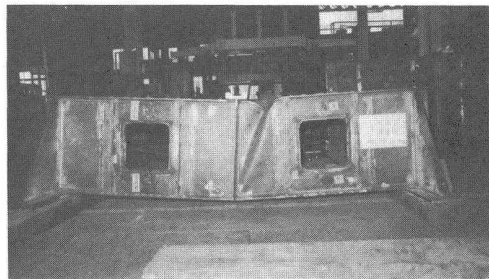


写真-2 供試体IIの破壊状況