

大阪府土木部 正員 林 孝明
 大阪大学工学部 正員 前田幸雄
 大阪大学工学部 正員 松井繁之

1. まぎわ 近年、ひびわれ現場でその維持管理上問題となっている道路橋床版に関して、RC床版に代り鋼・コンクリート合成床版が再び着目されている。筆者らもすでに合成床版について多くの研究成果を報告してきたが^{1,2)}、今回、コンクリート充填I形鋼格子床版とコンクリートサンドイッチ床版の疲労に対する安全性について信頼性解析によって検討した。これらの結果を報告し、今後の設計への資料としたい。

2. 両床版の疲労破壊特性

(1) コンクリート充填I形鋼格子床版

本床版は図1に示すように、コンクリートの打設の現場で行なう準プレハブ床版で、現在、最も使用実績の多い合成床版である。I形鋼の下フランジによりコンクリートがインターロックされ、抜り落ちの心配はない。

この床版に実験室で繰返し載荷を行うと図3に示すように主部材であるI形鋼のパンチ孔隅部から下フランジに向かう疲労キレフが発生する。この発生の主因はせん断力による隅孔部の二次曲げ応力の粗来である。このキレフの発生点の応力は式(1)で表わされる。

$$\sigma_x = \alpha \frac{M}{I_p} y + \beta \frac{\partial \tau}{\partial x} \frac{A_s}{A_s + A_{TL}} \frac{I_{TL}}{I_{TL} + I_{TL}} b \quad (1)$$

ここに、 α, β は孔形状による応力集中係数である。この応力式で計算される応力でI形鋼下フランジが破断する寿命をS-N 線図に表わすと図5の通りである。ここに2種示したのは図3でめぐるようにI形鋼ウェブのパンチ孔配列に2種あり、配列によって疲労強度が異なるためである。

(2) コンクリートサンドイッチ床版

本床版は図2に示したように、上下鋼板を高力ボルトで連結し、その中にコンクリートを充填したものである。ただし、高力ボルトの本数を節約することと、鋼板の局部変形を抑えるため高力ボルトの中間に異形鉄筋のスタッドジベルを密植している。

この床版の疲労破壊特性は図4に示したように、載荷板付近のジベル密着部から鋼板にキレフが発生し、徐々に成長し、ついには床版の耐荷力が減少するというものである。この疲労破壊現象はスタッド付鋼板の疲労強度

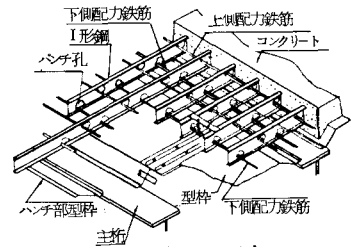


図1 コンクリート充填I形鋼格子床版

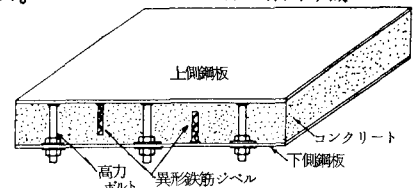


図2 コンクリートサンドイッチ鋼床版

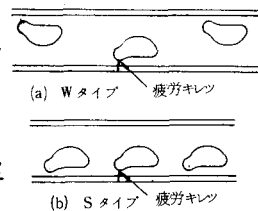


図3 鋼格子床版の型鋼の疲労破壊パターン

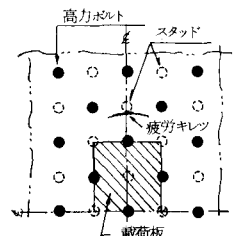


図4 スタッド付鋼板の疲労破壊現象

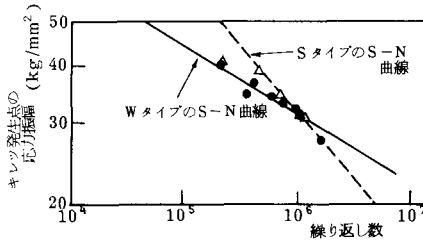


図5 鋼格子床版のI形鋼のS-N曲線

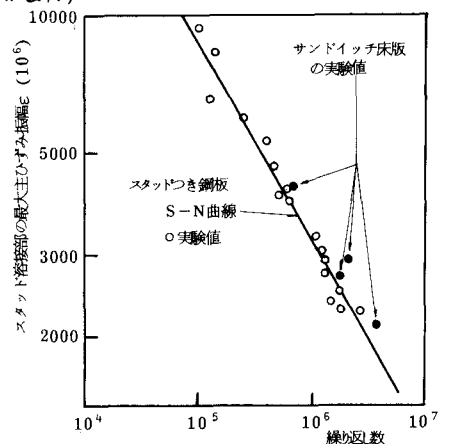


図6 スタッドつき鋼板のS-N曲線

と関連づけられる。すなわち、下側鋼板には曲げによる引張応力とスタッドボウのせん断力が同時に作用するからである。なお、スタッド溶接部周辺では溶接止端形状による高い応力集中を伴う。この応力集中度は三次元解析値の整理より、せん断力の関数で式(2)のように得られた。

$$\sigma = 4.157 + 0.003272 \cdot Q \quad (Q \text{ はスタッド1本に作用するせん断力 (kg)}, \quad (1))$$

この応力集中度を用いた主応力でスタッド付鋼板の疲労データ (Q をパラメータとして3種に分けられている)³⁾ と再整理すると図5のように1本の

表-1 鋼格子床版の断面諸量

	床版スパン					
	1.5m	2.0m	2.5m	3.0m	3.5m	
t (cm)	16	17	18	19	20	
B (cm)	28.5	23.5	19.5	17.0	15.0	
σ (kg/cm ²)	1350	1390	1384	1386	1395	

E-N 曲線でこれらの疲労強度が表現できる。この結果にサンドイフ床版の実験結果をプロットすると黒丸印のようになり、よく一致を見た。よって、図5のE-N曲線と本床版の基本疲労強度線図として使用できる。ただし、床版内のスタッドに作用するせん断力は板解析より得られるせん断力(単位面積当り)と高力ボルトとスタッドの断面積比によって分配されるものと採用すればよい。

表-2 サンドイフ床版の断面諸量

H (cm)	12	
t (cm)	0.6	
x (cm)	4.9	
Iv (cm ⁴ /cm)	39.91	

表-3 自動車軸荷重分布

軸重 (t)	NHW (%)	UEW (%)
0 ~ 2	73.03	79.54
2 ~ 4	10.61	9.60
4 ~ 6	8.09	6.16
6 ~ 8	3.32	2.21
8 ~ 10	2.12	1.35
10 ~ 12	1.60	0.78
12 ~ 14	0.849	0.238
14 ~ 16	0.210	0.079
16 ~ 18	0.091	0.028
18 ~ 20	0.038	0.028
20 ~ 24	0.034	0.012
24 ~ 28	0.0071	0.006
28 ~ 32	0.0009	----

3. 疲労に対する信頼性解析と安全性

疲労に対する信頼性定数は A. H. Ang⁴⁾ によって提示された式を用いた。

$$L(x) = \exp \left[- \left\{ \frac{x}{\bar{x}} \left[1 + \Omega_n^{1.08} \right] \right\}^{2.44} \right] \quad (2)$$

床版の抵抗強度は表-1および表-2に示した断面をもつ単独板で、板解析により最も発生応力の高い点にそれぞれ床版の疲労破壊点を想定し、2点ばたS-N線図あるいはE-N線図の基本強度を有するものとした。ただし、鋼格子床版ではI形鋼をWタイプとSタイプの2種について考えることにした。

表-4 自動車後輪の通行位置分布

	平均値	標準偏差	
NHW	0.73 L	0.09 L	
UEW	0.77 L	0.065 L	

荷重に関しては表3、4に示した建設省で調査された自動車荷重強度分布と軸荷重通行位置分布を適用した。ただし、主桁とレーンマークの隙間が不足であるので破壊確率が最も大きくなるよう通行の最頻点を移動させた。日交通量を1車線当たり1.5万、1.5万、2万台の3種に変え、この違を見るようにした。

表-5 設計寿命50年に対する疲労安全率

パンチ 日交通量 スパン	NHW			UEW		
	1万	1.5万	2万	1万	1.5万	2万
1.5 m	1.18	1.11	1.06	1.44	1.35	1.29
2.0	1.34	1.25	1.20	1.63	1.53	1.46
2.5	1.50	1.41	1.34	1.80	1.69	1.62
3.0	1.66	1.55	1.48	2.01	1.88	1.80
3.5	1.89	1.78	1.70	2.29	2.15	2.05
1.5	0.70	0.62	0.57	0.85	0.75	0.69
2.0	0.79	0.70	0.64	0.95	0.84	0.77
2.5	0.88	0.78	0.72	1.06	0.94	0.86
3.0	0.98	0.87	0.80	1.17	1.04	0.95
3.5	1.14	1.01	0.93	1.35	1.19	1.10
1.5	1.03	0.86	0.75	1.22	1.01	0.89
2.0	0.88	0.73	0.64	1.05	0.87	0.76
2.5	0.76	0.63	0.55	0.91	0.76	0.66
3.0	0.68	0.57	0.50	0.82	0.68	0.60
3.5	0.60	0.49	0.43	0.71	0.59	0.50

本解析の最終結果を、床版供用目標と50年とし、50年経過での95%信頼性に対する安全率の形でまとめ、表5に示した。この安全率は95%信頼性を確保する許容最大応力振幅と作用する最大応力振幅の比で表わされる。

表-6 サンドイフ床版の必要版厚

パンチ 日交通量 スパン	NHW			UEW		
	1万	1.5万	2万	1万	1.5万	2万
1.5 m	12.0	13.5	15.0	12.0	12.0	13.5
2.0	13.5	15.5	17.5	12.0	13.5	15.0
2.5	15.0	17.5	19.5	13.0	15.0	16.5
3.0	16.5	19.0	21.5	14.5	16.5	18.5
3.5	18.5	21.5	24.0	16.0	18.5	21.0

結論として、鋼格子床版のWパンチタイプの床版が最も大きい安全率を有していることがわかった。サンドイフ床版では12cmのままでは安全率が1を下回り、何らかの対応が必要である。スタッドを省略するのが特策の1つである。今1つは表6に示したように安全率1を確保するよう床版厚を増加させればよい。今後の問題として、50年経過時で95%の信頼性を持たせる必要の検討は必要であろう。

[参考文献] 1)前田他: Fatigue Strength of Concrete-Filled Grillage Decks, IABSE Colloquium 1982. 2)前田他: コンクリート・リッド鋼格子床版の実験的研究, 建設技術資料集, 昭和55年6月. 3)前田他: Fatigue Strength of Steel Plates with a Stud Shear Connector for Application to Continuous Composite Beams, 9th Congress IABSE 1972. 4) A. H. S. Ang: Structural Reliability and Probability-Based Design, 1976.