

鋼・コンクリート合成床版の疲労ひび割れ発生寿命に関する一考察

日立造船鉄構(株) 正会員 ○杉原 伸泰  
 大阪工業大学 フェロー 松井 繁之

1. 目的

鋼・コンクリート合成床版の疲労耐久性を考慮した設計法を確立するためには、疲労損傷の進展機構を解明する必要がある。実験的な検証として、これまでに鋼・コンクリート合成床版を対象とした輪荷重走行試験が数多く実施されており<sup>1)</sup>、その結果、鋼・コンクリート合成床版に繰り返し走行荷重が作用した場合、コンクリートに特徴的な疲労ひび割れが発現することが確認されている。そこで本研究の目的は、鋼・コンクリート合成床版に生じる疲労ひび割れの発生寿命評価として、数値解析により得られるコンクリート応力変動に基づいた推定法を示すこととした。

2. 試験体および試験方法

試験体は球平形鋼を用いた鋼・コンクリート合成床版とした(図1参照)。橋軸方向 4500mm×橋軸直角方向 2800mm、床版厚は底鋼板(t=6mm)を含み 200mm とした。球平形鋼の形状は高さ 110mm×ウェブ厚 9.5mm とし、ウェブ面にはずれ止めとしてスタッドを 300mm 間隔で配置した(図2参照)。主鉄筋は D22@250mm, 配力筋は D16@250mm とし、球平形鋼の上側に敷設した。

コンクリートの呼び強度は 27N/mm<sup>2</sup> とし、膨張材は使用量 30kg/m<sup>3</sup> として添加した。試験体は 2 体(試験体 D1 および D2)製作した。

鋼・コンクリート合成床版の疲労損傷機構を明らかとするため、輪荷重走行試験を実施した。図3に荷重載荷プログラムを示す。初期荷重 157kN より開始し、最大荷重 392kN, 総走行回数 52 万回の繰り返し走行載荷試験とした。本試験には(独)土木研究所所有の輪荷重走行試験機を使用した。

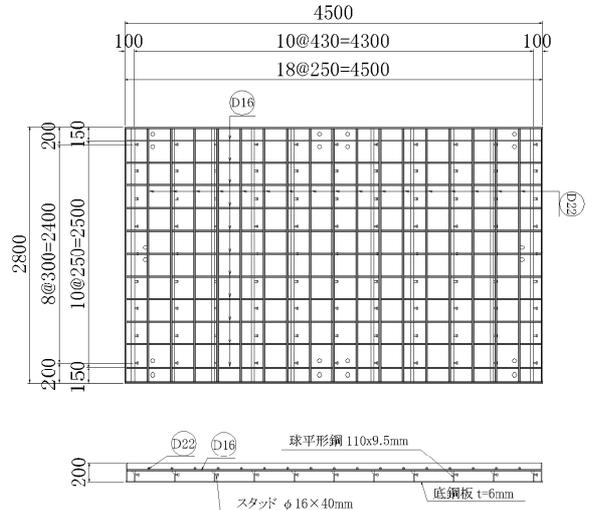


図1 床版試験体

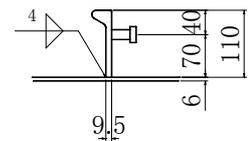


図2 鋼殻パネル断面

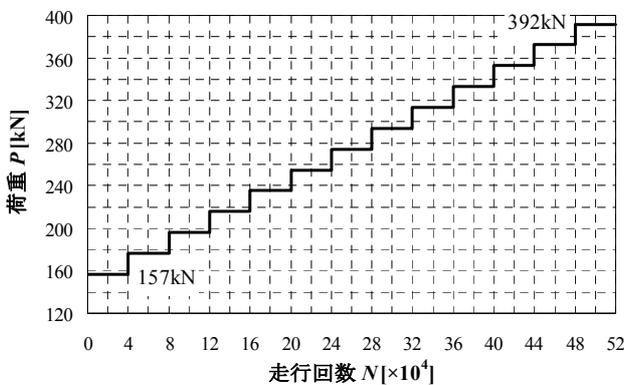


図3 荷重載荷プログラム

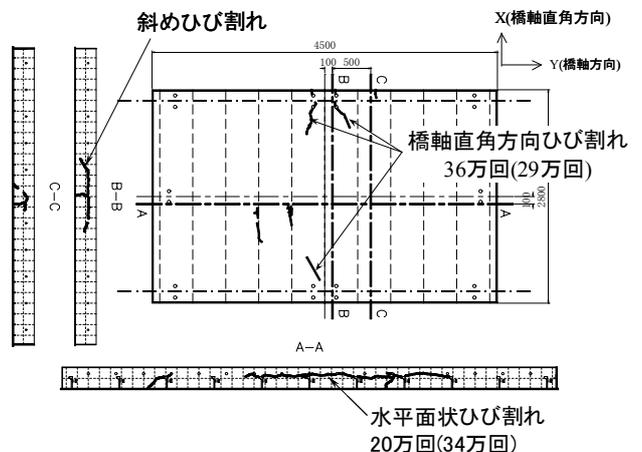


図4 ひび割れ状況

キーワード 鋼・コンクリート合成床版, 輪荷重走行試験, 疲労ひび割れ発生寿命

連絡先 〒592-8331 大阪府堺市西区築港新町1丁5番1 日立造船鉄構(株) TEL 072-243-6815

3. ひび割れ状況

図4に試験体のひび割れ状況を示す。図中 A-A, B-B および C-C は切断面を示す。疲労ひび割れの形状としては、(a)支点部から生じる橋軸直角方向ひび割れ、(b)球平形鋼頂部高さの水平面状ひび割れおよび(c)斜め方向のひび割れが一般的である。図5に3次元有限要素法解析モデルを示す。橋軸方向3.0mの範囲に順次輪荷重を載荷させた場合、着目位置のコンクリート応力度は引張強度に比して十分小さい。しかし、荷重の移動に伴い着目位置のコンクリート応力が引張側または正負に変動することが確認できた。これより、上述(a)~(c)のひび割れは荷重の移動繰り返し載荷による疲労ひび割れであると考えられる。

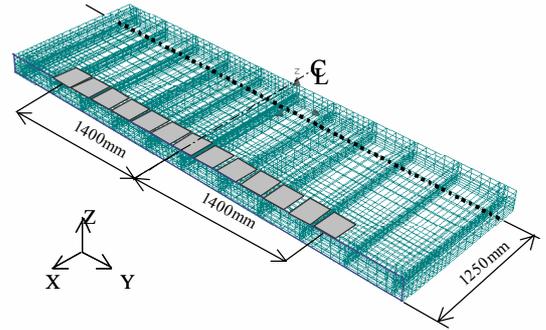


図5 有限要素法解析モデル

4. 疲労ひび割れ発生判定

疲労ひび割れ発生寿命は、式(1)より求まるコンクリートの累積引張ひび割れ損傷度  $D_d$  が 1.0 に達した走行回数として定義した。一定荷重  $P_0$  の載荷によるひび割れ発生寿命  $N_0$  は、式(2)に示すコンクリートの一軸交番疲労試験より導出された S-N 関係<sup>2)</sup>より求めた。式(2)中の右辺第4項は信頼係数が 90%となる信頼区間を考慮するための定数項である。等価繰り返し走行回数  $N_{eq}$  は、RC 床版における S-N 関係を適用して求めた。

$$D_d = \frac{N_{eq}}{N_0} \tag{1}$$

$$\log N_0 = 9.46 - 7.71 \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ct}} - 3.37 \frac{\sigma_{min}}{\sigma_c} \pm 1.45 \tag{2}$$

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{P_0} \right)^m \cdot N_i \tag{3}$$

$$m = \frac{1}{0.07835} = 12.763 \tag{4}$$

$D_d$ : 累積損傷度,  $P_0$ : 基本荷重[kN],  $P_i$ : 載荷荷重[kN],  
 $N_{eq}$ : 荷重  $P_0$  に換算した繰り返し回数[回],  
 $N_0$ : 一定荷重  $P_0$  の載荷によるひび割れ発生寿命[回],  
 $N_i$ : 荷重  $P_i$  の繰り返し載荷回数[回],  
 $\sigma_{max}$ : 引張最大応力[MPa],  $\sigma_{ct}$ : 静的引張強度[MPa],  
 $\sigma_{min}$ : 圧縮最大応力[MPa],  $\sigma_c$ : 静的圧縮強度[MPa]

5. 寿命推定結果

表1に疲労ひび割れ発生寿命の推定結果を示す。表中の引張および圧縮応力は、3次元有限要素法解析により求めた疲労ひび割れ発生位置におけるコンクリート要素の応力である。繰り返し走行回数  $N$  の中央値は、式(2)において信頼区間を考慮しない場合を示し、上限および下限値は信頼区間を考慮した結果を示す。試験体において各々のひび割れが発生した走行回数は、推定結果の範囲内にあり、累積損傷度に基づいた疲労ひび割れ発生寿命の推定が可能であるものと考えられる。

表1 ひび割れ発生寿命の推定結果

	(a)橋軸直角方向ひび割れ	(b)水平面状ひび割れ		(c)斜め方向ひび割れ
		フラット面側	球頭部側	
基準荷重 $P_0$ [kN]	157	157	157	255
静的引張強度 $\sigma_{ct}$ [MPa]	33.0	33.0	33.0	33.0
静的圧縮強度 $\sigma_c$ [MPa]	3.2	3.2	3.2	3.2
引張最大応力 $\sigma_{max}$ [MPa]	0.68	0.32	0.35	1.30
圧縮最大応力 $\sigma_{min}$ [MPa]	-0.75	-1.13	-1.10	-0.85
繰り返し走行回数 $N$ [回]	上限値	441,700	502,700	468,200
	中央値	290,900	335,600	304,500
	下限値	164,600	195,500	210,500
試験結果	360,000 (290,000)	200,000* (340,000)*		440,000*

注1) ( )内は試験体D2におけるひび割れ発生時の走行回数を示す

注2) \*付数値は試験体のたわみおよびひずみより推定したひび割れ発生時の走行回数を示す

参考文献 1) 杉原他: 球平形鋼合成床版の疲労耐久性

に関する実験的研究, 第4回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 217-222, 2004. 11.

2) H.Cornelissen and H.Reinhardt: Fatigue of Plain Concrete in Uniaxial Tension and in Alternating Tension-Compression Loading, IABSE Colloquium Lausanne, pp.273-282, 1982.