

I-221

都市高速道路橋における補剛材の活荷重シミュレーションによる疲労解析

大阪大学大学院 学生員 濱田 洋
（株）大林組 正 員 星加益朗大阪大学工学部 正 員 川谷充郎
京都大学工学部 正 員 古田 均
阪神高速道路公団 正 員 南 莊 淳

1. はじめに 近年の自動車交通運輸の急速な増加に伴い、車両の大型化・重量化が進み、橋梁構造物の各部には劣化損傷や疲労損傷が発生している¹⁾。道路橋の疲労損傷には、伸縮継手を含む路面凹凸上を走行する自動車荷重の動的載荷ならびに橋梁各部の動的応答の影響が大きいと考えられる。しかし、そのような動的影響を忠実に反映できる疲労解析手法は、未だ開発されていないのが現状である。本研究では、鋼 I 桁橋の主桁と横桁の取合部補剛材に着目して、衝撃係数を変化させたシミュレーション解析を行い、それが疲労寿命に及ぼす影響を調査する。さらに、交通荷重特性の相違による疲労寿命の変化についても言及する。

2. 解析手法 2.1 対象構造

阪神高速道路高架橋の鋼 I 桁橋を対象とし、旧標準である 5 主桁橋の主桁と横桁の取合部補剛材に着目する。着目構造の概略図を図-1 に示す。これらの補剛材については、平面骨組応力解析と有限要素法による詳細応力解析を用いた影響値解析が行われて

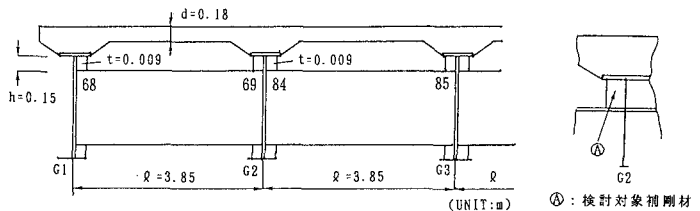


図-1 中央横桁および検討対象補剛材

表-1 車種分類と車両特性

vehicle classification		Asiya				Amagasaki				Suginoe			
		proportion (%)	total vehicle weight	dist.	$\mu(t)$	$\sigma(t)$	proportion (%)	total vehicle weight	dist.	$\mu(t)$	$\sigma(t)$	proportion (%)	total vehicle weight
2-axes large size trucks	unloaded	1.52	NOR	7.36	1.90	0.69	NOR	8.75	2.55	1.36	NOR	7.66	2.13
	loaded	1.13	LOG	14.05	2.32	0.50	LOG	15.90	2.49	2.51	LOG	13.27	2.67
	overloaded	0.01	EXP	23.14	3.14	0.02	EXP	21.55	1.55	0.02	EXP	24.12	4.12
3-axes large size trucks	unloaded	1.80	NOR	11.21	1.89	1.18	NOR	12.54	2.06	2.28	NOR	10.84	2.58
	loaded	6.19	LOG	19.77	3.18	2.72	LOG	22.69	2.99	5.39	LOG	19.32	3.50
	overloaded	0.05	EXP	32.24	2.24	0.05	EXP	32.67	2.67	0.04	EXP	32.07	2.07
3-axes large size trucks	unloaded	2.32	NOR	11.21	1.89	1.53	NOR	12.54	2.06	2.95	NOR	10.84	2.58
	loaded	1.40	LOG	19.77	3.18	0.62	LOG	22.69	2.99	1.22	LOG	19.32	3.50
	overloaded	0.94	NOR	14.80	3.50	0.91	NOR	13.58	2.44	1.15	NOR	13.67	2.97
trailer	unloaded	0.94	NOR	14.80	3.50	0.91	NOR	13.58	2.44	1.15	NOR	13.67	2.97
	loaded	1.46	LOG	26.98	8.63	0.90	LOG	31.01	10.54	1.33	LOG	25.60	10.67
mid size trucks		18.14	LOG	5.11	3.01	16.82	LOG	4.97	2.92	20.03	LOG	4.97	2.76
passenger cars		65.04	LOG	1.31	0.34	74.05	LOG	1.50	0.36	61.72	LOG	1.37	0.38

 μ : Mean value, σ : Standard deviation

NOR: Normal distribution, LOG: Log-normal distribution, EXP: Exponential distribution.

いる²⁾。それらの解析結果より、補剛材応力の影響面を求める。

2.2 交通荷重による疲労解析 都市内高速道路における交通実態調査に基づく

活荷重モデルを用い

て、その平均的な交通量および車種別混入率から構成される活荷重列をモンテカルロ・シミュレーションにより発生させ、補剛材応力の影響面上に載荷することにより、着目補剛材に生じる応力の時系列変動を求める。さらに、レインフロー法により応力範囲の計算を行い、線形被害則に基づいて各補剛材の疲労寿命および等価応力範囲を算出する²⁾。

3. 活荷重モデル 活荷重モデルは、阪神高速道路の芦屋集約料金所（以下、芦屋）、尼崎 集約料金所（以下、尼崎）、住之江入路（以下、住之江）における交通荷重実態調査に基づいて作成した。車種を表-1 のような特性の12種類に分類した。車両総重量は車種ごとに正規分布、対数正規分布あるいは指数分布のいずれかに従うものとし³⁾、さらに総重量を車種ごとに一定の固定軸重比で各軸重に分配する。また、このモデルでは車長は車種ごとに一定としている。

4. 疲労損傷の評価 4.1 線形被害則による疲労損傷の評価 ここで用いる疲労設計曲線は日本鋼構造協会・疲労設計指針（案）⁴⁾によるものである。対象モデルが隅肉溶接の縦方向溶接継手であることから、以下に示す強度等級Dの式(1)を用いて、線形被害則により疲労寿命および等価応力範囲の計算を行った。

$$\Delta \sigma^m \cdot N = C_0 \quad (1)$$

ここに、 $C_0 = 2.0 \times 10^6 \times \Delta \sigma_f^m$
 $(\Delta \sigma_f = 100 \text{ MPa: (許容応力範囲)})$
 $m = 3$ ，疲労限: 39.0 MPa)

等価応力範囲とは、単位期間内の応力変動と同じ繰り返し数で等価な疲労被害を与える応力範囲のことで、式(2)により求める。

$$\Delta \sigma_e = \left(\frac{\sum \Delta \sigma_i^m \cdot n_i}{\sum n_i} \right)^{1/m} \quad (2)$$

ただし、疲労限以下の応力範囲に対しては、 $n_i = 0$ とする。

4.2 衝撃係数の疲労損傷に与える影響 自動車走行による動的挙動の疲労損傷に及ぼす影響を推定するため、衝撃係数を4種類に変化させたときの疲労解析結果を表-2に示す。この結果から、補剛材Nos. 69, 84, 85の疲労寿命は、補剛材No. 68と比較するとかなり短くなる。補剛材Nos. 69, 84, 85について、衝撃係数と疲労寿命の関係を図-2に示す。また、比較のため、式(1)を用いて、衝撃係数を0としたときの疲労寿命から、衝撃係数により応力変動を割増して疲労寿命を推定した結果を併せて示す。この図から、疲労寿命の長い補剛材は推定値が大きく、疲労寿命の短い補剛材は解析値が大きくなる傾向となる。

4.3 交通荷重特性の疲労損傷に与える影響 交通荷重特性の相違による補剛材の疲労損傷の比較のため、尼崎、住之江の各々の測定地点における荷重特性を用いた疲労解析結果を表-3に示す。表-2(3)と表-3の結果を比較して、交通荷重特性の相違により疲労損傷の評価はそれほど大きく違わないが、それらの内最も疲労寿命が短く評価されたのは、表-2(3)の芦屋における荷重特性を用いた場合である。疲労損傷に最も影響を与えると考えられる大型車種とトレーラー類の合計車種混入率は、芦屋において16.8%であり、住之江の18.25%より小さいが、その内20t車以上の混入率は芦屋における方が大きく、このことが疲労寿命に関係していると考えられる。このことを踏まえて、前節における衝撃係数を変化させた解析では、芦屋における荷重特性を用いた。

【参考文献】

- 1) 阪神高速道路公団・鋼橋造検討委員会：鋼I桁橋の主桁と横桁・対傾構との取合部補剛材の疲労損傷に関する検討報告書，昭和61年10月。
- 2) 阪神高速道路公団，(社)日本材料学会：橋梁構造物の実用的信頼性設計手法の開発業務（その2）報告書，p. 95～139，平成3年3月
- 3) 阪神高速道路公団，(財)阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路公団設計荷重（HDL）委員会報告書，昭和61年12月。
- 4) 日本鋼橋造協会，『疲労設計指針（案）』，1989。

表-2 疲労寿命と等価応力範囲（日交通量57,600台／4車線）

阪神高速道路・芦屋集約料金所

(1) 衝撃係数 $i = 0.000$

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	354.8768	38.6230
69 G2(G1 side)	18.0723	46.3140
84 G2(G3 side)	4.2857	59.4660
85 G3(G2 side)	9.4719	54.7550

(2) 衝撃係数 $i = 0.130$

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	216.2510	39.4720
69 G2(G1 side)	12.2042	49.0010
84 G2(G3 side)	3.2085	63.0070
85 G3(G2 side)	6.5746	58.5330

(3) 衝撃係数 $i = 0.260$

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	136.8803	40.2920
69 G2(G1 side)	8.7244	52.0110
84 G2(G3 side)	2.4492	67.1170
85 G3(G2 side)	4.7460	61.8660

(4) 衝撃係数 $i = 0.371$

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	95.3318	40.9020
69 G2(G1 side)	6.7689	54.7370
84 G2(G3 side)	1.9749	70.4470
85 G3(G2 side)	3.7026	65.2140

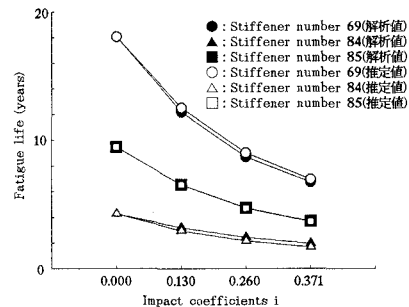


図-2 衝撃係数と疲労寿命の関係図

表-3 疲労寿命と等価応力範囲（日交通量57,600台／4車線）

(1) 阪神高速道路・尼崎集約料金所（衝撃係数 $i = 0.260$ ）

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	162.3440	39.3960
69 G2(G1 side)	10.6226	57.4530
84 G2(G3 side)	3.3098	69.9740
85 G3(G2 side)	6.7842	64.1190

(2) 阪神高速道路・住之江入路（衝撃係数 $i = 0.260$ ）

Stiffner number	Fatigue life (year)	Equivalent stress range (MPa)
68 G1(G2 side)	176.0823	39.9520
69 G2(G1 side)	9.8440	50.0920
84 G2(G3 side)	2.6151	65.7020
85 G3(G2 side)	5.2432	60.2260