

第3章 比較対象とする鉄筋コンクリート床版とコンクリート被害則の設定

3.1 概要

合成床版の開発・採用にあたっては、自動車の繰返し通行に対する疲労耐久性について、その疲労による破壊メカニズムが複雑であることから、現状では疲労耐久性がある程度明らかになっている床版との相対比較により照査することが一般に行われる。

本研究では、提案する解析手法によって、様々な鋼コンクリート合成床版について数値的に疲労耐久性を評価することを試みる。このとき、絶対的な耐久性については明確ではないため、現行基準（道路橋示方書，平成24年3月）で設計された床版を照査対照モデルとし、これとの相対関係で評価することとした。

具体的には、現行基準による床版が目標とする設計供用期間の丁度100年程度の耐久性を有しているものと仮定して、現行設計活荷重策定において参考としている活荷重実測データと比較し、本解析におけるコンクリートの被害則を設定した。図-3.1.1 に設定フローを示す。

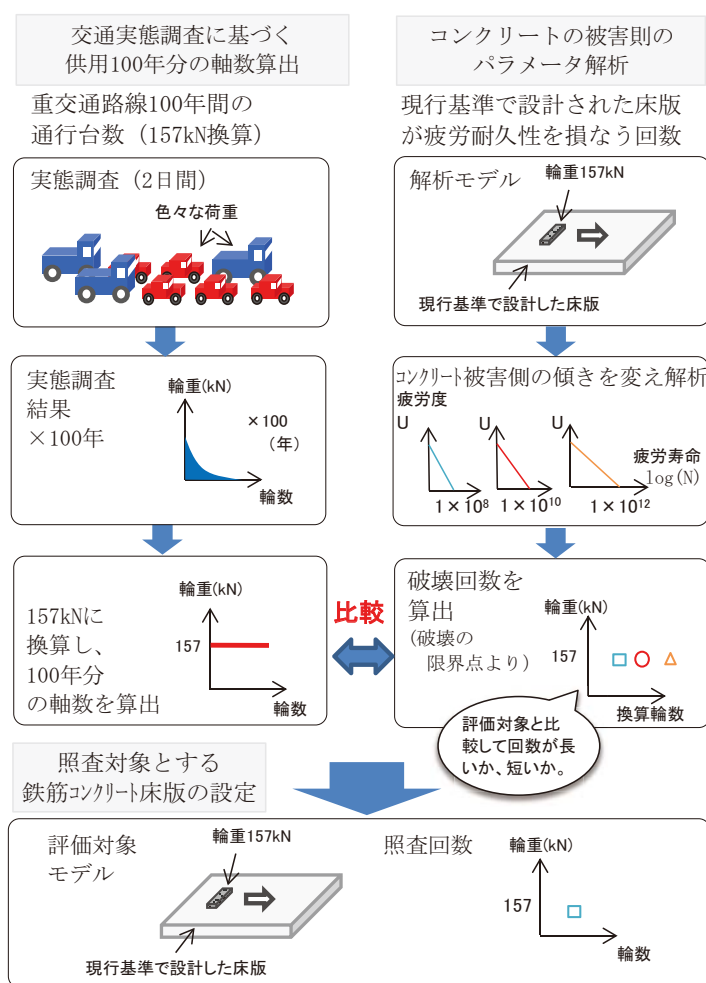


図-3.1.1 重交通路線100年分の通過輪数に相当する鉄筋コンクリート床版の照査回数の設定フロー

3.2 実態調査に基づく供用100年分の軸数算出(157kN換算輪数)

(1) 交通実態調査の概要

本研究では、活荷重実態データとして、昭和59年に旧土木研究所で実施された国道357号線の有明付近での車重実態調査から得られた軸重ごとの頻度台数（以下「実態調査結果」という。）を用いた^{3.1)}。測定は、車種ごとの輪重をマット式重量計で平日2日間計測したものである。測定された交通実態が100年変わらないと仮定し、単純に100年分の輪重ごとの頻度を算出した結果を図-3.2.1に示す。

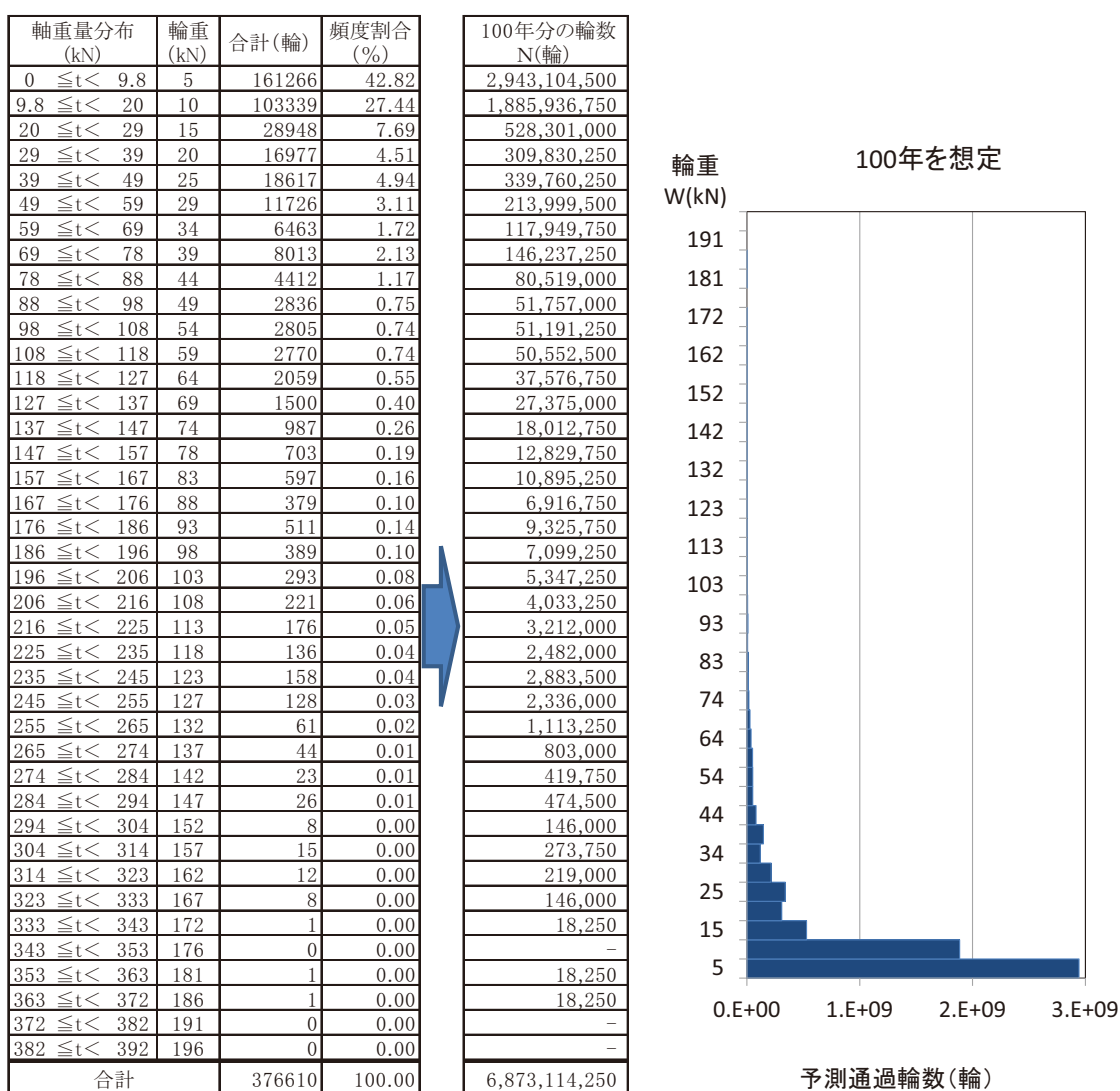


図-3.2.1 輪荷重頻度分布構成 (実態調査結果)

(2) 代表輪重 (157kN) での換算頻度

後述する解析においては、様々な重量の車両が通行する実態とは異なり、輪重 157kN を一定載荷することになる。そこで、活荷重実態調査で得られた輪荷重頻度分布構成比が供用期間中大きく変わらないという前提で、本研究における代表輪重による換算台数の算出は、次のように行っている。

ある程度以上の時間の中で計測される車両重量頻度分布形状とそれによって橋の着目部位に生じる変動応力範囲の頻度分布の形状が相似であると仮定する。このとき輪重あるいは変動応力範囲の最大値付近では、輪重の最大値 (W_{max}) が実交通流においては通常セミトレーラ型の車両であるのに対して、変動応力範囲の最大値 ($\Delta \sigma_{max}$) に最遠軸距が短い 3 軸ダンプトラックなどの大型トラックによるものが対応する場合があるが、全体的にみて分布系が相似であるとの仮定には大きく影響しない。

このように仮定すると、変動応力範囲の頻度から求められる損傷度 (変動応力範囲の m 乗×頻度) の分布形状と「輪重分布の m 乗に台数を乗じた値 (以下「輪重損傷度」という。)」の分布形状も相似と見なすことができる (図-3.2.2 及び図-3.2.3 参照)。

さらに、これを代表輪重 (W_D) のみの輪重損傷度で与えるとすると、式(3.2.1)のように代表輪重の頻度 (N_D) として算出する。

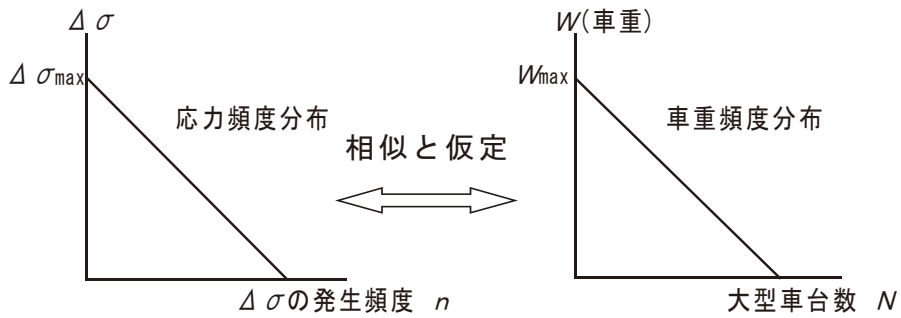
$$N_D = \sum_{W < W_{ve}}^{W_{max}} (W_i^m \times N_i) / W_D^m \dots \dots \dots (3.2.1)$$

ここで、 m は自動輪荷重により部材に影響を与えるダメージを表す。鋼部材の場合、応力範囲の 3 乗及び繰返し数の 1 乗で効いてくる^{3.2)}。道路橋床版においては、全国の輪荷重走行試験により明らかにされており、その試験機の寸法や輪の種類 (サイズや材料) によって異なる^{3.3)}ものの、本研究では、土木研究所で実施された輪荷重走行試験結果を用いることから、土木研究所による S-N 線式(3.2.2)から求められた傾き ($m=18.3$) を用いている。

$$\log_{10} \frac{P}{P_{sx}} = -0.0545 \cdot \log_{10} N + \log_{10} 10.9565 \dots \dots \dots (3.2.2)$$

本研究において、代表輪重は 157kN、 m は 18.3 とすると、代表輪重 (W_{157}) の頻度 (N_{157}) は、次のとおりである。

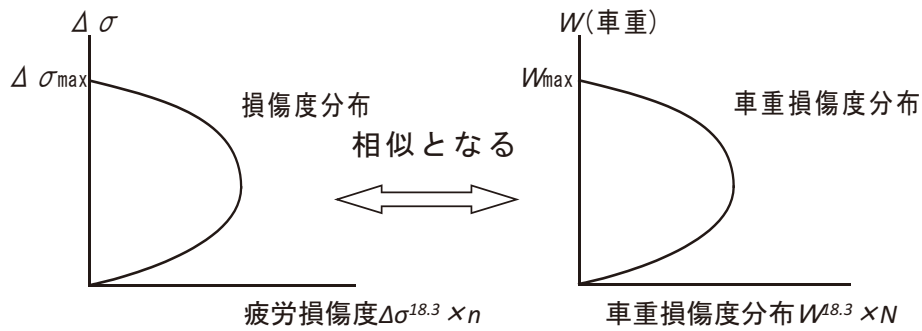
$$N_{157} = \sum_{i=5}^{195} (W_i^{18.3} \times N_i) / W_{157}^{18.3} = 2,408,173 \dots \dots \dots (3.2.3)$$



(a) 変動応力範囲 $\Delta\sigma$

(b) 車両重量

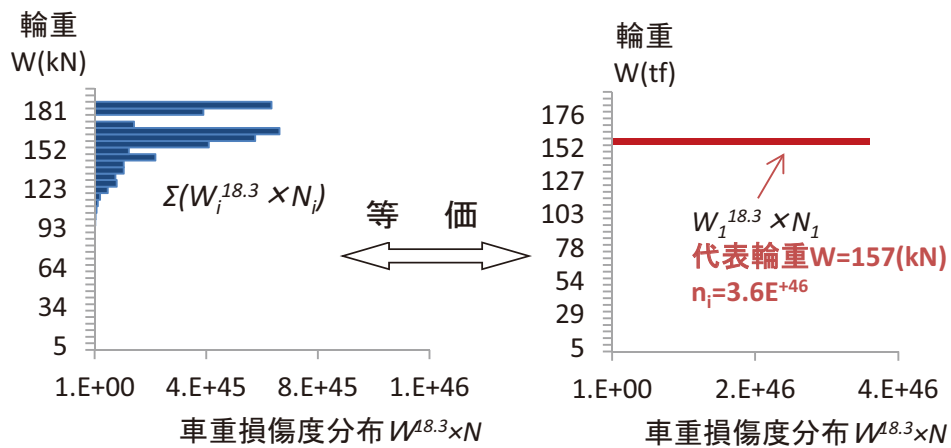
図-3.2.2 変動応力範囲の頻度分布と車両重量の頻度分布



(a) 疲労損傷度

(b) 車重損傷度

図-3.2.3 変動応力範囲による損傷度分布と車重損傷度の頻度分布



(a) 車重損傷度

(b) 代表輪重(W157)に換算

図-3.2.4 代表輪重(W157)による等価輪重損傷度

実態調査結果から求めた輪重損傷度分布と代表輪重を、次の図-3.2.5 に示す。

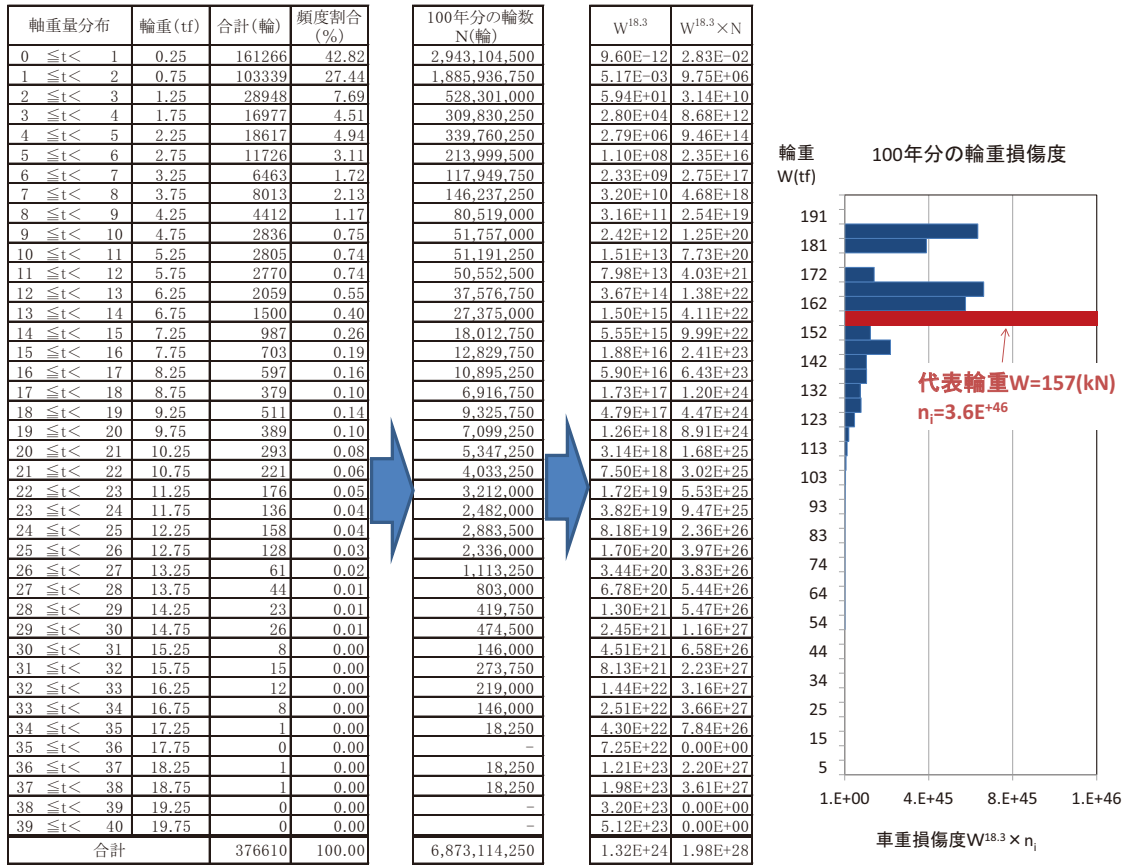


図-3.2.5 床版の輪重損傷度 ($m=18.3$)

3.3 評価対象モデルと評価回数の設定

(1) 検討概要

現行設計規準で設計した床版に対する耐久性評価手法を用いた解析を行う。ここで、計算は3通りのコンクリートの被害則（8 乗,10 乗,12 乗）で行い、コンクリートの被害則を変えて疲労耐久性の絶対値評価を試みた。

解析ではモデルに代表荷重（157kN）を移動載荷した計算を行い、破壊に至るまでの損傷過程について実橋の床版で想定される疲労損傷過程及び設計上期待している疲労耐久性との比較から、床版の疲労解析に用いるコンクリートの被害則について考察する。

ここで、本研究で提案する解析の方法として、各コンクリート要素に発生する、方向別の応力とひずみの積の最大変動分（疲労度 ΔU ）の蓄積である、累積損傷度 D が1に達した場合、 x,y,z 方向のうち最も方向別累積損傷度が大きい方向を破壊するものとしている。このとき、 $\Delta U_t(y$ 切片)は、静的な破壊基準とみなせることから、コンクリートの引張強度としている。

(2) 解析の概要

①対象床版

鉄筋コンクリート床版について、昭和40年代に自動車荷重の繰返しによる疲労損傷が問題となったが、以後道路橋示方書の規定は数度にわたって改定されてきており、疲労耐久性が向上してきていることが輪荷重走行試験において確認されている。

解析では、表-3.3.1 に示す構造諸元の床版モデルを対象とする。この床版では、現行設計基準と同じ「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（平成8年度）」に従って、床版支間3.0mの連続版の設計と同様となるよう配筋を決定している供試体 RC8n1 を想定した床版である（以下「H8床版」という。）。

表-3.3.1 構造概要一覧

床版	厚さ (mm)	ヤング係数(N/mm ²)		支間(主鉄筋)方向 鋼材(mm)		支間直角(配力筋) 方向鋼材(mm)		(表面からの)中 立軸高さ (mm)	
		コンクリート	鋼材	位置 (表面 から)	鉄筋の種類 と配置間隔	位置 (表面 から)	鉄筋の種類 と配置間隔	支間 方向	直角 方向
RC8n1 (H8床版)	250	2.5×10^4	2.0×10^5	40	(上)D19@300	58	(上)D16@250	64	58
				210	(下)D19@150	192	(下)D16@125		

②解析モデル

解析モデルはこれまで検討してきたように、床版コンクリートをソリッドモデルとし、 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 程度の大きさの要素に分割する。鉄筋は埋め込み要素とする。コンクリート要素の解析モデル図を図-3.3.1に、要素分割の部分を図-3.3.2に、材料の物理定数を表-3.3.2に示す。荷重の支持条件は実験と同じであり、長辺は単純支持、短辺は弾性支持とした。載荷荷重は 157kN （一定載荷）とする。

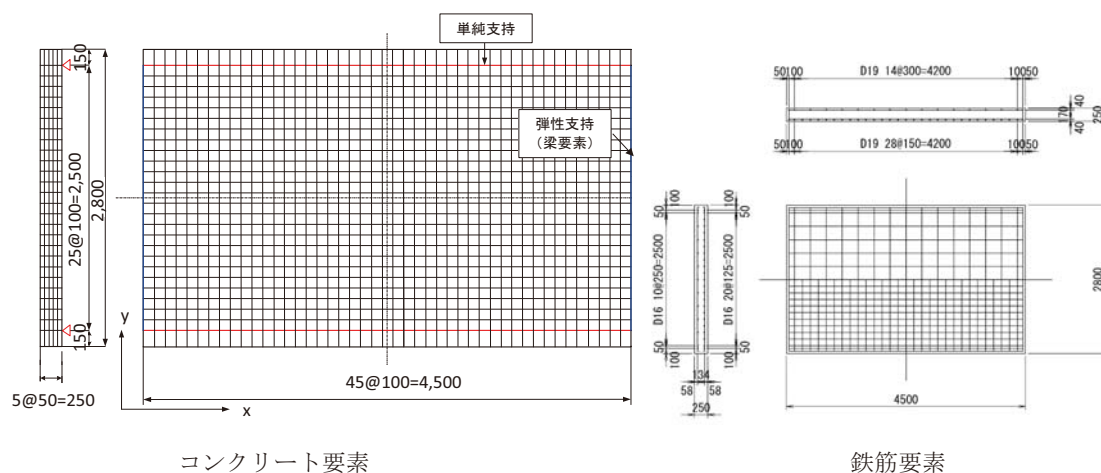


図-3.3.1 要素分割

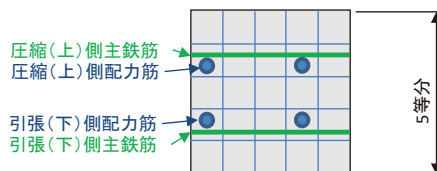


図-3.3.2 要素分割の部分

表-3.3.2 材料の物理定数

要素	物理定数	単位	物理定数	備考
コンクリート	圧縮強度	N/mm^2	33.1	
	引張強度	N/mm^2	2.64	
	ヤング係数	N/mm^2	27.9×10^3	
	せん断弾性係数	N/mm^2	12.10×10^3	
	ポアソン比	—	0.150	
鉄筋	ヤング係数	N/mm^2	2.0×10^5	

③コンクリートの被害則

コンクリートの累積損傷度 D は、疲労度に基づく被害則に従い、図-3.3.3に示す8乗,10乗,12乗の対数則に従うものと仮定し、それぞれ解析を行った。

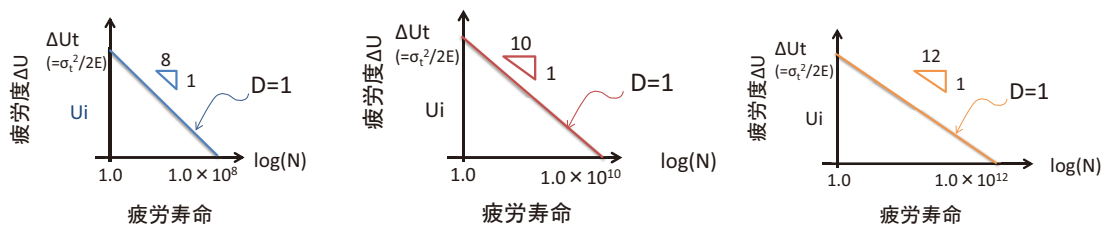
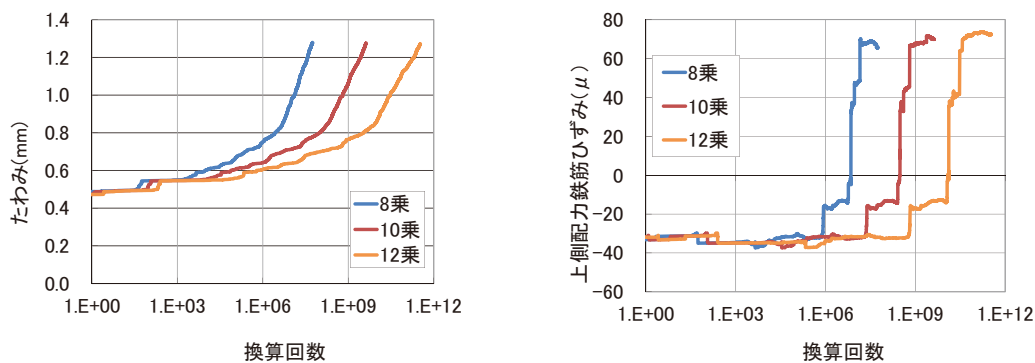


図-3.3.3 コンクリートの被害則の違い

(3) 解析結果

解析結果のうち、たわみと上側配力鉄筋のひずみを図-3.3.4及び表-3.3.3に示す。



(a)たわみ

(b)上側配力鉄筋ひずみ

図-3.3.4 コンクリートの被害則の違いごとの応答の違い

表-3.3.3 RC8n1 床版(一定荷重(157kN))

	8 乗	10 乗	12 乗
たわみ			
上側主鉄筋ひずみ			
上側配力鉄筋ひずみ			
下側配力鉄筋ひずみ			
下側主鉄筋ひずみ			

3.4 まとめ

実態調査結果を 157kN 換算したときの载荷回数と、上記(2)の解析を破壊の定義 A で整理した回数との比較を表-3.4.1 及び図-3.4.1 に示す。

供試体 RC8n1(H8 床版)が、本検討で想定した重交通の条件において疲労耐久性を有していると仮定すると、コンクリートの被害則を 8 乗,10 乗,12 乗とすることでいずれも実態調査に対しては十分に安全側の評価が可能であった。

コンクリート系床版の自動車荷重による疲労耐久性は、走行位置や軸重変動等の外力条件や、コンクリートの品質等にも大きく左右され、これらを制御することにも限界があり、解析によって実現象を精度良く推定しようとすることは現実的でない。従って、実務の設計においても、例えば現行基準による場合と相対比較において少なくとも設計供用期間における耐荷力性能が大きく劣ることがないこと、あるいは十分な余裕をもって確保される可能性が高いかどうかを概略推定できればよいと考えられる。

以上を踏まえて、本研究ではコンクリートの被害則を 8 乗として 4 章以降を示す。各種床版に対する解析による疲労耐久性の試算と比較を行うこととした。

なお、1.2(4)まとめと課題において述べた、疲労限の有無、変動応力振幅の変化パターンや大きさなどの関係については、引き続き課題として残されている。

表-3.4.1 解析結果と活荷重実態調査データにおける 100 年分の载荷回数比較

コンクリートの被害則	8 乗	10 乗	12 乗
RC8n(H8)床版* (定義 A で整理)	837Step 7,040,000 回	836Step 306,000,000 回	789Step 12,200,000,000 回
実態調査 (157kN 換算,100 年相当)	2,408,173 回 (S-N 線図より傾き 18.3)		

※現行基準（道路橋示方書，平成 24 年 3 月）で設計された床版

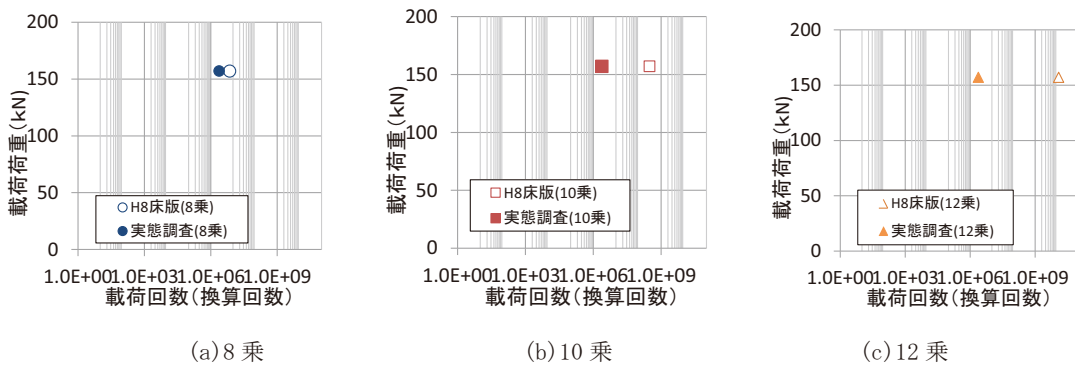


図-3.4.1 解析結果と活荷重実態調査データにおける 100 年分の载荷回数比較

3章 参考文献

- 3.1) 建設省土木研究所：限界状態設計法における設計活荷重に関する検討、土木研究所資料第 2539 号,1988.1.
- 3.2) 鋼道路橋の疲労設計指針、(社)日本道路協会、2002.3.
- 3.3) 道路橋床版の要求性能と維持管理技術、(社)土木学会鋼構造委員会道路橋床版の合理化検討小委員会、2008.6