

鉄道軌道スラブの疲労設計

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○高橋 貴蔵
 北武コンサルタント(株) 正会員 渡邊 忠朋
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 関根 悦夫

1. 目的

現在、全面支承方式の鉄道軌道スラブの設計にはA型軌道スラブ設計要領（以下、設計要領）を用いている。設計要領において疲労照査に用いる列車荷重には、軌道構造物の種類・形態に関わらず一定の割合で割増した値を用いている。新幹線用軌道スラブを設計する場合は、東海道新幹線の実測値より輪重変動は標準偏差 1σ で15%とされることから、 3σ までを考慮して静止輪重の45%増しの値を用いている¹⁾。しかし、レールの支持状態や路床・路盤といった軌道構造や軌道支持構造によって衝撃荷重や応力分布状態が異なることから、軌道構造や軌道支持構造種別ごとに割増量を選定する必要がある。また、疲労検討荷重は設計耐用期間内に生じる平均的な値を対象とすることから、現状よりも割増し量を少なくできると期待されている。

そこで、本論文では静止輪重に対する割増し量が、疲労照査の安全率に与える影響の程度について検討を行う。また、鎌田ら²⁾が提案する修正マイナー則を用いた疲労照査法を軌道スラブの設計に適用した場合の効果についても同時に検討を行う。

2. 疲労照査方法

鎌田らによる疲労照査方法のフローを図1に示す。この照査方法は、平成14年に発行された「SI単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造」（以下、現行標準）の疲労照査法に修正を加えたものである。修正点の概略としては、繰返し回数200万回以降においてS-N線図の傾きを-0.12から-0.06に変更する修正マイナー則を取り入れた点である。これにより、高繰返し領域における完全片振り時の引張疲労強度を従来より大きな値として算定することが可能となる（図1中〔I〕）。

完全片振り時の引張疲労強度は列車運行による繰返し回数によって定まる値であるため、実際に運行される列車形態に近い状態で繰返し回数を求める必要がある。

本方法では、新幹線の列車形態を表1に示す軸重の異なる2種類の実列車荷重に区分し、それぞれの実列車本数を設定することで ΣN を算定する（図1中〔II〕）。

引張疲労強度の算定には ΣN を用いる。ただし、この ΣN は標準列車荷重の繰返し回数に換算された値であることに注意されたい。すなわち、引張疲労強度は標準列車荷重を対象として求めた値になる（図1中〔III〕）。

以上よりA形軌道スラブ設計要領による疲労照査法と修正マイナー則を用いた照査法の主な相違点は①等価繰返し回数の設定、②S-N線図の2点である。

表1 実列車荷重と標準列車荷重

対象線区	実列車荷重の呼称	実列車の編成および乗車率	標準列車荷重
新幹線A	A列車荷重	新幹線列車1:16両編成(100%乗車)	P-17荷重
	B列車荷重	新幹線列車2:16両編成(250%乗車)	

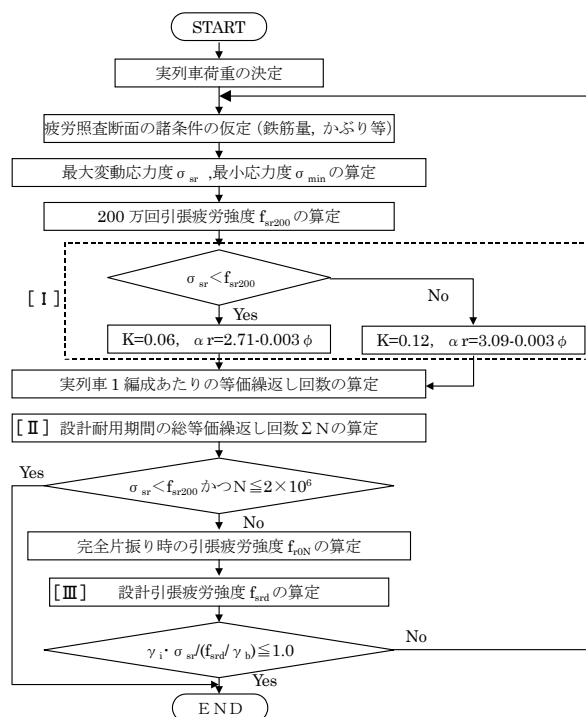


図1 疲労照査フロー

キーワード 軌道スラブ, 疲労, 修正マイナー則, 引張疲労強度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-473-7276

3. 疲労照査結果

疲労照査結果に及ぼす静的輪重の割増し量を与える影響を検討するため、表2に示す検討ケースに対して疲労照査を行った。照査に用いる軌道スラブの断面を図2に示す。対象とする鉄筋はレール方向に配筋された軸方向鉄筋であり、下側引張になる曲げモーメントを対象とする。曲げモーメントは軌道スラブを平板要素、締結装置と注入剤をばね要素、レールを梁要素としてモデル化し、汎用のFEM弾性解析によって求めた。材料等の各諸元については設計要領を参照されたい。

1) 疲労照査法の影響

修正マイナー則と設計要領による疲労照査の安全率を図3に示す。AおよびB列車本数をそれぞれ120、10本/日とし、設計耐用期間を50年として設定する。修正マイナー則を用いた疲労照査では、P-17荷重に換算した引張疲労強度は 191.8N/mm^2 となった。これは設計要領を用いた場合の 83.3N/mm^2 と比較すると、大幅に上方修正されていることになる。したがって、静止輪重の割増し量を 3σ としても疲労照査の安全率は0.33といった小さな値になる。

2) 静的輪重割増しの影響

表2の右端にCASE4の照査結果に対する各ケースの比を示す。引張疲労強度は割増し量に関わらず一定値であることから、割増し量の影響が生じるのは列車荷重による変動応力である。本検討ケースにおいては、割増し量が 1σ 変化すると、照査結果が約1割変化するという結果を得た。すなわち、割増量に対し照査結果の安全率は線形的に増大することになる。

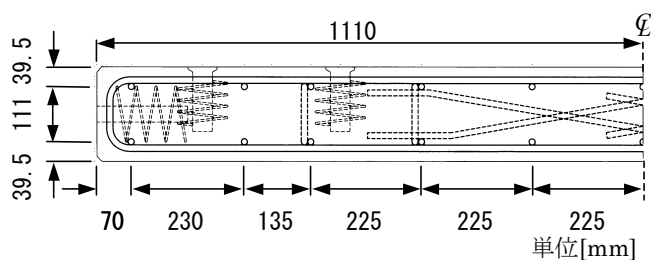


図2 軌道スラブレール直角方向断面

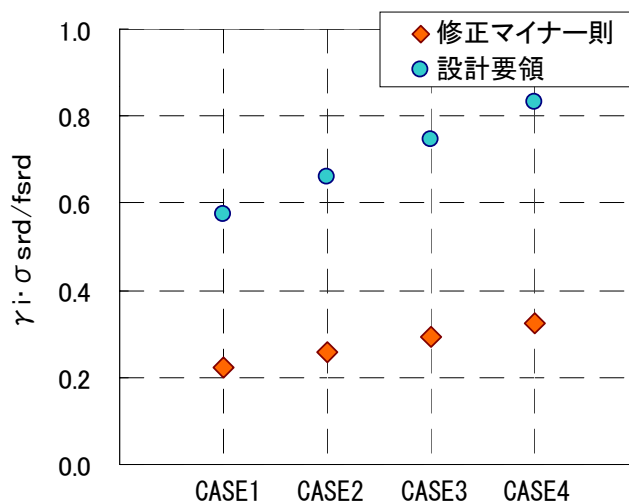


図3 疲労照査結果

表2 検討ケースと照査結果

検討ケース	割増量	曲げモーメント(kNm):列車本数			変動応力 $\sigma_{sr}(\text{N/mm}^2)$	実列車本数(本/日)		総等価繰返し回数	引張疲労強度 $f_{srd}(\text{N/mm}^2)$	照査 $\gamma \cdot \sigma_{srd} / f_{srd}$	CASE4に 対する比
		A列車荷重	B列車荷重	P-17荷重		A	B				
CASE1	0 σ (0%)	5.1	7.0	7.6	39.1	120	10	2936911	191.8	0.22	0.69
CASE2	1 σ (15%)	5.8	8.1	8.8	45.0	120	10	2936911	191.8	0.26	0.79
CASE3	2 σ (30%)	6.6	9.1	9.9	50.8	120	10	2936911	191.8	0.29	0.90
CASE4	3 σ (45%)	7.4	10.2	11.1	56.7	120	10	2936911	191.8	0.33	1.00

4. まとめ

軌道スラブの疲労照査に用いる列車荷重の割増し量の影響を確認するため、はじめに疲労照査方法の検討を行った。その結果、修正マイナー則を適用した疲労照査法を用いることで、引張疲労強度の大幅な改善を確認することができた。また、上述した疲労照査法を用いて、列車荷重の割増し量をパラメータとした照査を行なった結果、疲労の安全率が割増し量に対し線形的に増大することが分かった。

したがって、修正マイナー則を軌道スラブの疲労照査に取り入れ、構造種別ごとに動的反応要因を明確にすることで、照査法と応答値の両面から疲労照査の安全率を大幅に低減でき、より合理的な設計を行うことが可能である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：A型軌道スラブ設計要領, pp.12-14, 1987.
- 2) 鎌田卓司, 曾我部正道, 谷村幸弘, 吉田幸司, 渡邊忠朋, 佐藤勉：高繰返し領域での疲労照査法に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.18, No.1, pp.13-18, 2004.1.