

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 涌井 一

(財)鉄道総合技術研究所 ○正会員 奥田広之

1. まえがき

PCまくらぎの設計荷重は、主として車輪フラットによる衝撃作用に支配される。車輪フラットがPCまくらぎに及ぼす衝撃作用を解明するためには、運行車両や供用速度等の性格が異なる線区において、数多くの実測データを蓄積することが必要である。しかしながら、衝撃輪重・レール圧力・まくらぎの応答と損傷状態からなる一連の関係を、現場測定試験のみから追求することは、車輪フラットという再現性に乏しく、広帯域な事象の性格から限界がある。そこで、山手線車輪フラット試験で測定された軸箱加速度の分析結果から得られた衝撃輪重に関する知見¹⁾をもとに、仮設実物大軌道(在来線PC3号軌道)に対する重錘落下試験により、車輪フラットの衝撃作用を模擬し、PCまくらぎの著大ひずみの発生機構について検討した。また、重錘落下時の衝撃応答をシミュレーション解析することにより、解析面からも検討した。

2. 試験概要

本研究のために開発した落錘式衝撃試験機は、重錘の質量が最大160kg、落下高さが最高2.5mであり、軌道(レール頭面)に対して最大500kNの衝撃力(重錘の質量×反発加速度)を作用させることができる。衝撃試験機を設置した場所が固いコンクリート路盤上であったため、高架橋路盤上に用いられるバラストマットを敷き、その上に標準構造で試験軌道を構築した。試験軌道には3号まくらぎと50Nレールを使用し、まくらぎ下のバラスト厚を25cm、まくらぎ間隔を58.2cm、軌道延長を8.4mとした。道床の突き固め状態は、一様な状態、中すかし状態、中央固結状態(レール下浮き状態)の3条件とした。試験は中央の片側レール頭面に対して重錘落下により衝撃力を作用させることにより行った。

3. 解析概要

試験軌道の解析モデルを図1に示す。解析軌道延長は試験軌道の1/2以下であるが、衝撃点近傍の解析には十分な延長であることを確認した。まくらぎは平面要素、レールははり要素、軌道パッドと道床バラストは線形ばね要素でモデル化した。軌道パッドのばね定数は、当該パッドの圧縮変形限界曲線から平均値としてバイリニアの関係を仮定し、試験における荷重の範囲と載荷速度を考慮して、静的ばね係数を110kN/mm、動動的ばね係数を880kN/mmとした。道床バラストのばね定数としては、路盤のばね定数(今回の試験ではバラストマットのばね定数)をバラストの荷重分散効果により補正して得られるいわゆる道床係数を用いた。

4. 試験および解析結果

落錘衝撃試験の測定波形の一例を、解析結果と対比して

図2に示す。解析はレール頭面に対する衝撃力(重錘の質量×反発加速度)を外力として直接積分法により求めた。本研究で検討の対象としている衝撃力により生じる一発目のパルスの応答波形については、図2に

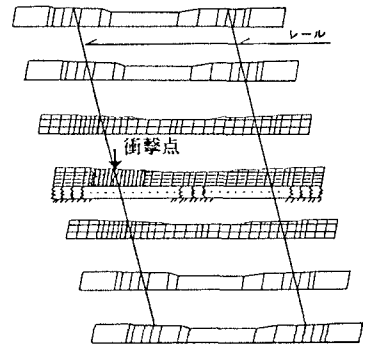
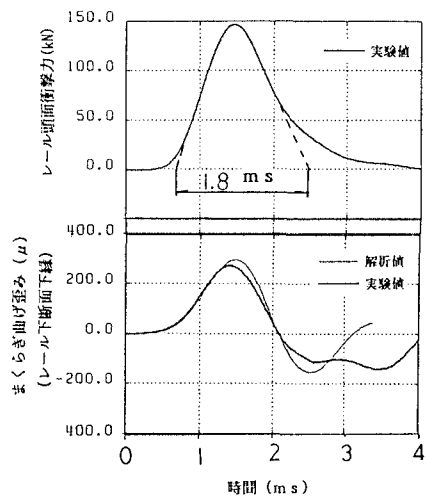


図1 動的有限要素法解析モデル

図2 試験軌道における衝撃点直下の測定波形
(重錘質量62kg、落下高さ30cm、衝撃力継続時間1.8ms)

示したまくらぎ曲げ歪みのほか、レール圧力やレール・まくらぎの鉛直加速度についても極めて良く一致した。

また、上記と同一の荷重条件に対してモーダル応答解析を行い、支配的モードと寄与率について検討した。まくらぎの振動モードは数多くあるが、この内レール下断面の曲げモーメントに関係するのは500～700Hz前後の四つのモードであり、これらのモードにより全体の約96%のモーメントを生じていた。なお、直接積分法とモーダル応答解析法との差は最大1%以下に過ぎず、極めて良い一致を示した。

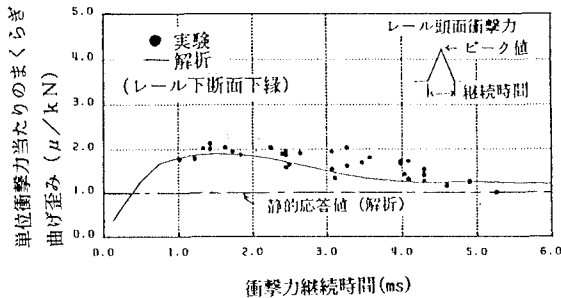


図3 まくらぎの衝撃応答特性(解析と実験の比較)

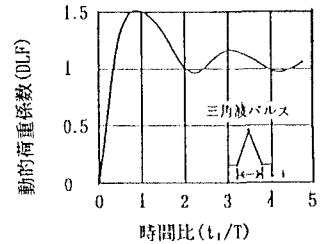


図4 三角波パルスにおける
衝撃周波数の影響
(T :系の固有周期、
 t_1 :衝撃力継続時間)

試験軌道における衝撃応答特性を解析結果と対比して図3に示す。ここで、横軸は三角パルス状衝撃力の継続時間、縦軸はまくらぎ曲げひずみ(衝撃点直下レール下断面下縁)ピーク値を衝撃力のピーク値で除した値であり、まくらぎにはひびわれが入らない線形弾性範囲の結果である。継続時間1～5msの衝撃力は、衝撃周波数に対する共振増幅現象の影響と、軌道パッドのばね定数増大に伴うレール圧力増加との相乗効果により、レール下断面に作用する曲げモーメントを静的応答値に対して最大約1.8倍(解析では1.9倍)に増加させる領域(継続時間1～2msの範囲が最大)にあり、これがコンクリートまくらぎに著大な曲げ歪みを発生させる主因であることを明らかにした。軌道パッドのばね定数の増大による効果は、先に示したばね定数を用いて解析した結果では約1.25倍と試算されたことから、衝撃周波数に伴う増幅効果は最大約1.5倍と推定される。この衝撃周波数の影響は、単一の振動モードに対して理論的に図4に示すように求められており、三角パルスの場合、衝撃力継続時間が系の固有周期の約0.9倍の時に増幅度は最大に達する。したがって、レール下断面の曲げモーメントを支配する四つの振動モードの固有振動数が500～700Hz前後にあるため、1～2ms前後の衝撃力継続時間において曲げモーメントが最も大きくなるものと解釈できる。なお、図3は道床の突き固め状態が一樣な場合の結果であるが、中すかし状態と中央固結状態の場合でも衝撃応答特性の試験値はほとんど同じ結果であった。道床の突き固め状態は、静的にはまくらぎの応力状態を支配する要因となるが、著大な歪みを発生させる衝撃力に対しては、まくらぎがいわゆる”Free-Free Beam”として振る舞う傾向があるため、ほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

5. あとがき

コンクリートまくらぎの設計において支配的要因と考えられる車輪フラットの衝撃作用に焦点を当て、作用荷重に対するまくらぎの応答について、現象の解明と性状の把握において多くの価値ある知見が得られた。今後は作用荷重¹⁾・作用荷重に対するまくらぎの応答・まくらぎの応答に対する耐力²⁾について一貫して関連づけることにより、異常輪重に対する損傷度の評価を念頭においたコンクリートまくらぎの限界状態設計法の確立を目指すべきであると考えられる。

(参考文献) 1) 涌井他: 車輪フラットの衝撃作用とPCマクラギの著大ひずみ 第42回年講(1987.9)

2) 涌井他: フレクション式まくらぎにおけるAEコンクリートの適用に関する研究 第44回年講(1989.10)