

地震時における道床横抵抗力

—木くろく下軌道、地震時断面軌道の場合—

国鉄・鉄道技術研究所[○] 佐藤吉考、小林 悟

1. 地震時における軌道の被害の特徴

大地震の際に鉄道線路が受ける被害は、おおむね他の土木構造物が受けるのと同様のものであり、路盤を形成する線路構造物(盛土・築堤等を含む)に変状を来たした場合、この上にある道床以上レールまでの軌道が被害を受けるのは已むを得ないことであろう。しかしながら、時に、路盤が特に明らかな被害を受けないのに、軌道のみがたかとも軸圧力をうけて座屈したように大きな変形を示すことがある。

このような現象については、すでに昭和10年4月21日に発生した台湾中部地震に際して高橋竜太郎により波状屈曲として報告され、その後、昭和23年5月28日発生した福井地震、昭和39年6月16日発生した新潟地震において顕著であった。一方、最近におけるロングレール軌道の普及は、これら軌道が温度変化を軸圧力として受ける構造であることから、特に地震時における安定の程度を明らかにしておく必要を生じた。

地震時に生ずる波状屈曲に関する従来の所見としては、

- (1) 線路を横断する地盤の相対移動に追随して生ずる変形である。
- (2) 地震動により軌道が横に置去られた。
- (3) 道床横抵抗力の減少により温度応力に基づく座屈である。
- (4) 地震時の地表歪による座屈である。

が挙げられて来た。このうち、(1)は断層を前提としているので、問題となるような断層が鉄道線路を横断することはそう多くはないと考えられる。(2)は軌道の慣性力と重視しているが、正に地震時における軌道の安定度が問題となる。(3)は軸圧力を受けている軌道の道床内における動的安定の問題と考えることができる。(4)は地震時における軸圧力増大に関する問題を考えている。

以上のことから、地震時における道床以上レールまでの軌道の安定の程度を明らかにし、さらに軸圧力の影響は理論的に検討するのが妥当であると考えられる。この軌道の安定度と表わす尺度としては、道床のり面の崩れ等によることも考えられるが、これが及ぼす影響の結果は道床中におけるレールとマクログリマ形成される軌道の移動に帰せられることを考へ、これらマクログリマを横引き(マクログリマ長手方向)したときに示される抵抗力によるのが直截な解答と与えるものと考えられる。

2. 振動時道床横抵抗力試験の実施とコンクリートマクログリマ—碎石道床軌道における試験結果

このような考へに基づき、昭和43年1月および11月に約3週間ずつ回にわたって、大型振動台上に十分な余裕をもって軌道と収容し試験と行なえる鉄筋コンクリート製実験槽を設置し、この中にマクログリマ本の実物軌道をのせ、左右、上下、前後(軌道長手方向)方向に加振したときの道床横抵抗力を測定する試験を行なった。

上記試験のうち1回試験は、コンクリートマウギで砕石道床の軌道について行なったもので、これについてはその概要および最終報告書を出してある。この結論を要約すれば以下の如くである。

- (1) 新幹線および既軌線における道床横抵抗力を具体的に検討した結果、新幹線の列車規制震度ではその道床横抵抗力の大部分96.5%を保持しており、その設計震度でも静的状態の83%を保持する。在来線については、松代地震における150galの規制で87%を保持し、標準設計震度で83%を保持しており、軟弱地盤の重要構造物を設計する最高震度0.25に対しても78%を保持している。
- (2) ロングレール軌道についても、その温度軸圧力による安定に関し検討した結果、新幹線ではその設計震度に対して1.275の安全率をもち、在来線でも地震発生直前の構造物設計加速度0.2gに対して1.2、同軟弱地盤上における場合の0.25に対して1.15の安全率を有する。

3. 木マウギ軌道、地震時断面軌道に関する試験

3.1. 試験の概要

上記コンクリートマウギ-砕石道床軌道に関する試験に引き続き、昨年11月に行なった中2回の試験では、木マウギで砕石道床の場合、木マウギで砕石道床の場合およびコンクリートマウギ-砕石道床軌道-道床が地震時断面になっている場合の試験を行なった。試験は前回同様、左右、上下、前後方向に加振したときの道床横抵抗力を測定することにより行なったが、今回はこのほか、砕石道床の道床のり面が加振により崩れ始める加速度と求める試験を行なった。

木マウギ軌道に関する試験は、台湾中部地震、福井地震、新潟地震等従来顕著な波状圧曲を呈した軌道が木マウギで砕石道床の軌道であったので、この現象を解明する資料と得るために行なったものである。

地震時断面とは、十勝沖地震(1968)において軌道の被害を調査した際に、高築堤および軟弱地盤上において、恐らく路盤と軌框の間の相対移動の発生により、図-1に示すようにマウギ中間に道床の盛りとを生じ、マウギ側面および端面の相当の部分が露出する例を見たので、このような軌道の状態と称するものである。

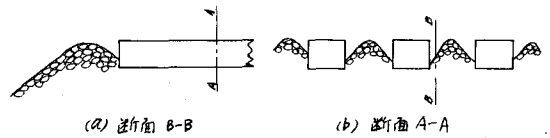


図-1 十勝沖地震(1968)で見られた道床状態(地震時断面)

3.2. 試験機器および供試軌道

試験に使用した装置はコンクリートマウギ-砕石道床軌道の場合とほぼ同様であるが、その概要を紹介すると以下の如くである。

大型振動台 電源開発株式会社が電力中央研究所技術研究所の中実験室内に所有するものである。

道床横抵抗力試験装置 この試験では、大型振動台上で振動時に軌道の横引きを行ったり、加振方向を変えるために振動台上で軌道の方角を変更しなければならないので、供試軌道と收容し、横引きと所要の測定ができるようにこの装置を製作した。この装置は、この目的に従って、マウギと本の実物軌道と收容しこれを振動盤に固定でき、必要に応じて方向を変更できる実験槽と、実験槽中の軌

道と横引きするたの横引力載荷装置と、横引きした際の横引力(道床横拵抗力)と測定する強力計と、その際の変位と測定する変位計からなっている。この装置の全体を示したのが、図-2である。

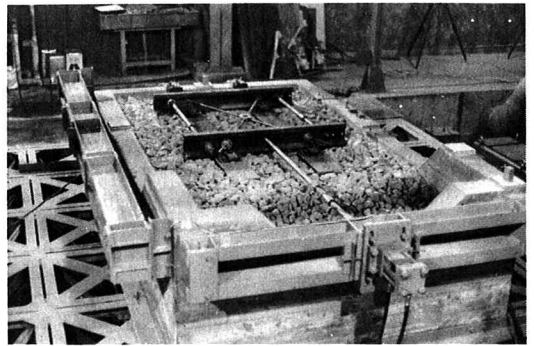


図-2 道床横拵抗力試験装置

供試軌道 供試軌道は表-1に示す如くで、いずれも狭軌線の軌道とし木マクラーギー-砕石道床、木マクラーギー-砕石道床の組合せおよびコンクリートマクラーギー-砕石道床軌道で道床が地震時断面のものである。

表-1 供試軌道の構成

4 試験結果

4.1. 測定記録

加振振動数は原則として10, 15, 20cpsとしたが、今回の木マクラーギー-砕石道床軌道の場合には、さらに5, 25, 30cpsの場合も加えてある。加速度は、原則として0.6gまでの範囲で3回以上8回まで変えた。

軌道種別	L-R	マクラーギー	締結装置	道床
木マクラーギー-砕石道床	50N, 高12m	木マクラーギー	F型	3,31砕石
木マクラーギー-砕石道床	"	"	"	砕石
地震時断面	"	PC3号	F型	"

測定記録は、上記試験装置から得られる道床横拵抗力およびマクラーギー変位のほか、左右、上下、前後の加振加速度が一枚のビジグラフ記録紙上に得られるようにした。この道床横拵抗力が静的状態と異なる点は、その記録に図-3に見られるような振動成分が見られることである。

4.2. 測定記録の解析

このような道床横拵抗力を漸増後一定値に達したのらで読みとり、木マクラーギー-砕石道床軌道の場合について15cpsで左右方向に加振した場合について示したのが図-4である。この図で、上端の横棒は道床横拵抗力の上限値と、矢印の長さが振動成分を示している。また加速度零のところに図示した黒丸は、静的状態における試験結果の平均値を示している。

この図から、道床横拵抗力は、加振加速度とともに減衰するが、振動成分は加速度とともに増大することが見られる。この値について解析したところ、この減法則は前回のコンクリートマクラーギー-砕石道床の場合と同様下記の式で示されることが確認された。

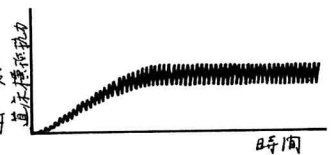


図-3 道床横拵抗力の記録

上限値: $F_{ij} = F_j(1 - a_j \alpha - b_j \alpha f) \dots (1)$, 振動成分: $\frac{\Delta F_{ij}}{F_j} = C_j \alpha \dots (2)$

ただし、 F -道床横拵抗力の上限値(t), F_s -静的道床横拵抗力, a -加速度係数(t/g), b -振動数効果係数(t/(g cps)), α -加速度(g), f -振動数(cps), ΔF -道床横拵抗力の振動成分(t), C -振動比率係数(g⁻¹), i -加振方向を区別するための添字, j -軌道構造を区別するための添字。

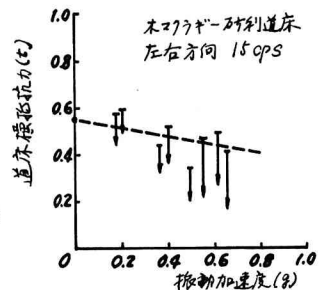


図-4 道床横拵抗力の振動加速度に対する特性

以上の式における各係数値を、前述の軌道について求め、参考のため

にコングリートマツラギー砕石道床軌道における値とともに示したのが、表2である。

この表によると、 a_{ij} および b_{ij} による道床横抗力上限値のてい減の程度は、今回のいそれの軌道とも前回同様上下方向加振の場合が最も大きい。水平方向においては、コングリートマツラギー砕石道床軌道の場合には前後方向加振の場合が大きい。

たのが、木マツラギ軌道の場合には左右方向と前後方向加振による場合と同程度。地震時断面の場合にはむしろ左右方向加振の場合のものがてい減の程度が大きくなっている。

つぎに C_{ij} で表わされる振動成分について見ると、その加振加速度による増大の程度は、前回同様今回のいそれの軌道でも、左右、上下、前後の順である。さらにその具体的な値をみると、左右方向では、従軌線の前回の値と近い値を示しているが、上下方向では前回の場合1.0g だったのが、他の軌道ともそうであるが、特に木マツラギー砕石道床軌道の場合0.65g と下がっているのが注目と懸く。前後方向では、木マツラギー砕石道床軌道、地震時断面の軌道とも前回の場合より著しく小さい。

これらの傾向は、軌道構造から考えておおよそ納得できるものである。

5. 道床肩およびのり面のくずれ限度

以上は、道床横抗力により軌道の安定の程度を示したのであるが、十勝沖地震(1968)の際に高築堤上の木マツラギー砕石道床軌道では、車に述べたようにマツラギ中間に道床が寄り寄せられ、道床肩およびのり面が流出した形跡を示し(折があった)ので、このような現象を生ずる際の振動加速度を定める試験を行った。

この試験は、上記の場合と同様木マツラギー砕石道床軌道について、道床肩の先端がくずれ始める加速度を求めて行った。その結果、人間の目による観察なので、或る程度ばらつきはあるが、このような現象を生ずる加速度は、左右では0.75g、前後では0.8g、上下では1.0g以上であることが明らかになった。

砕石道床軌道については、特にあらためてこのような試験は行われなかったが、上記行なった試験の結果によれば、おおよそ同様の値でくずれ始めるようである。

実際の軌道については、道床の湿潤状態等試験とは異なる要素もあるので、なお検討を要するが、上記高築堤においては、可成りの高加速度を生じたことが推測される。

おわりに、試験に御協力頂いた電源開発株式会社に対し謝意を表します。

【文献】 1) 佐藤吉彦「地震時における軌道の安定」才同土木学会年次学術講演会I-132, 昭和43年10月。2) 佐藤吉彦, 小林悟「地震時における道床横抗力-コングリート・砕石道床軌道の場合」鉄道技術研究報告No. 625, 昭和44年4月。3) 山田剛二, 佐藤吉彦他「十勝沖地震調査報告」鉄道技術研究報告No. 650, 昭和43年8月。

表-2 振動時道床横抗力の係数値

軌道種別	a_{ij}			b_{ij}			C_{ij}		
	左右	上下	前後	左右	上下	前後	左右	上下	前後
木マツラギー砕石道床	0	0.26	0	0.016	0.01	0.016	0.9	0.7	0.1
木マツラギー砕石道床	0	0.1	-	0.03	0.006	-	1.0	0.65	-
地震時断面	0	0.13	0.1	0.034	0.026	0.02	1.15	0.8	0.2
狭軌線 コングリートマツラギー砕石道床	0	0.6	0.4	0.02	0.01	0.02	1.1	1.0	0.4
新幹線 コングリートマツラギー砕石道床	0	0.6	0.4	0.02	0.01	0.02	0.8	0.7	0.3