

国鉄鉄道技術研究所 正員 田村落一
国鉄構造物設計事務所 正員 神谷良陳
全 上 , ○ 西村昭彦

1. 実験概要；けたを支持するシューのばね定数の変化がけたの振動性状および地盤振動に与える影響を測定するため、鉄道技術研究所構内にコンクリートブロック橋台を設置し、剛性の異なる2種類の鉄筋コンクリート模型けたを置いて、起振機による強制振動試験および打撃による自由振動試験を行った。シューは鉄およびフレキシパッドを使用した。試験地盤は厚さ85cmの表土の下に1m程の関東ローム層がありその下深さ10mまではN値が40~50の砂レキ層となっている。弾性波速度は表土およびローム層でP波が300%, S波が150%, その下の砂レキ層でP波730%, S波が430%の値を示している。またそれより求めたポアソン比、剛性率(%), ヤング率(%)は表土およびローム層で0.333, 370, 1000, 砂レキ層で0.234, 4300, 10600 となっている。土質柱状図を図-1に示す。

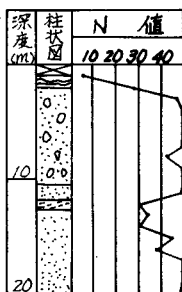


図1 土質柱状図

強制振動試験は2種類のけたともスパン中央に小型起振機を設置し、振動数は1~40Hzで行った。その結果けたの振動モードは曲げ振動でシューのばね定数が小さくなるに従いけたおよび地盤の振動は減少し、逆に減衰定数は大きくなることがわかった。

2. 試験けた；試験の対象となるけたは、東北新幹線スラブ軌道用単Tけたとバラスト軌道用単Tけたであり、次の条件で縮小し断面を決定した。(i) けたのスパンは1/4とする。(ii) 単純に支持された原型と模型の一次固有振動数が等しくなるようにEIを定める。その結果得られた2種類のけたの断面を図-2に示す。鉄筋はいずれもD10を使用した。またフレキシパッドは5×5でゴム厚8mmの形状のものを2枚重ね(表-1中のフレキシパッドA)、4枚重ね(同フレキシパッドB)として用いた。

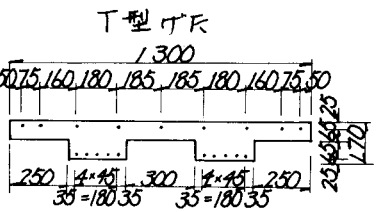
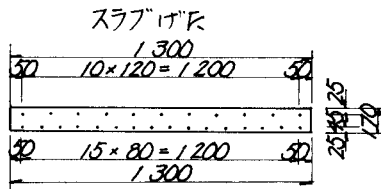


図2 けた断面図

3. 実験結果；スラブけた、T型けたとともに強制振動試験を行った。起振方向は鉛直および橋軸直角方向とし、さらにけた上に荷重(けた自重の1/2の砂袋)を等分布に載荷した場合の試験も行った。他にかげやでけたを打撃し、自由振動を起こさせ振動モード、減衰定数を測定した。強制振動試験の測定は加速度計(けたおよび橋台は2gMax, 地盤は1gMaxいずれも共和電業製)により行った。計器の配置を図-3に示す。鉛直方向の実験から得られた結果を表-1に示す。これで見るとT型けた、スラブけたとも鉄シューの方がけたの振動が大きくなり橋台の振動も大きくなるのがわかる。逆に減衰定数はフレキシパッドシューの方が大きくなっている。

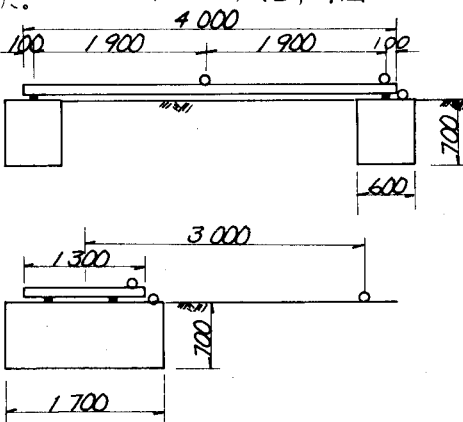
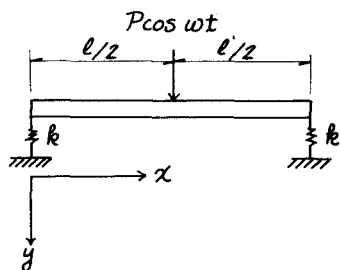


図3 計器配置図

4. 解析式；けたの強制振動の解析モデルとして図-4に示すように両端をばねで支えられた単純ばりを考える。強制力を無視してはりが曲げ振動を行うとすれば運動方程式は次のようになる。
$$\frac{wA}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0 \quad (1)$$
ただし断面は一様とする。ここに w : けたの単位体積重量 A : けたの断面積 EI : けたの曲げ剛性 g : 重

か加速度 (1)式の一解は次のようになる。 $X = C_1 \cos \lambda x + C_2 \sin \lambda x + C_3 \cosh \lambda x + C_4 \sinh \lambda x$ - (2) ここに $C_1 \sim C_4$ は任意定数、 $\lambda^4 = \frac{\pi^4}{4l^4}$, $\nu = \frac{EI \theta}{WA}$

図-4の境界条件は $x=0: \frac{d^4 y}{dx^4} = 0, S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = R_y$
 $x=l: \frac{d^4 y}{dx^4} = 0, S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = -R_y$ } - (3)



であるからこの条件に(2)式を代入して式を整理すると $\nu^2(1 - \cos \lambda l \cdot \cosh \lambda l) + 2Rl(\cos \lambda l \sinh \lambda l - \sin \lambda l \cosh \lambda l) + 2R^2 \sin \lambda l \cdot \sinh \lambda l = 0$ - (4) ただし $R = EI \lambda^3$ (4)式が図-4の系の固有振動数を求める方程式である。また S 次の基準振動の振動数は次のように表わせる。

図4 刀学モデル

$$X_s = Q_s \left\{ \cos \lambda_s x + \cosh \lambda_s x + \frac{(2Rl \cdot \sinh \lambda_s l + \cos \lambda_s l - \cosh \lambda_s l)}{(\sin \lambda_s l - \sinh \lambda_s l)} \times \sin \lambda_s x + \frac{(2Rl \cdot \sin \lambda_s l + \cos \lambda_s l - \cosh \lambda_s l)}{(\sinh \lambda_s l - \sin \lambda_s l)} \times \sinh \lambda_s x \right\} - (5)$$

また強制振動は次のように解ける。図-4の系において外力 $F(t)$ がけた全長にわたってかかると考えると強制振動の方程式は $EI \frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{WA}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = F(t)$ - (6) となる。(6)式の解 y がこのけたの基準関数 X_s を重ね合わせることに

よって得られるものとし基準座標を ϕ_s と表わせれば y はの変位は次式で示される。 $y(x,t) = \sum_{s=1}^{\infty} \phi_s X_s$ - (7) さて1つの基準振動 $y = X_s \cos \eta_s t$ は y はりの境界条件を満足するとともに自由振動の微分方程式(1)も満足しているから

$\frac{WA}{g} \eta_s^2 X_s - EI \frac{d^4 X_s}{dx^4} = 0$ - (8) が成り立つ。(7)を(6)式へ代入し(8)を代入して基準座標の直交性を考えると $\int_0^l \frac{WA}{g} X_s^2 dx (\phi_s + \eta_s^2 \phi_s) = F(t) \int_0^l X_s dx$ - (9) $\therefore \phi_s + \eta_s^2 \phi_s = \frac{F(t) \int_0^l X_s dx}{\int_0^l \frac{WA}{g} X_s^2 dx}$ - (10) また外力は強制振動であるから $x = \frac{l}{2}$ の位置のみ $P \cos \omega t$ がかかる。従がって $F(t) \int_0^l X_s dx = P \cos \omega t - Q_s$ - (11) となる。ただし $Q_s = (X_s)_{x=\frac{l}{2}}$ ここで $M_s = \int_0^l \frac{WA}{g} X_s^2 dx$ とおき、減衰が ϕ_s に比例するものと考え、その減衰定数を η_s と考えると $\phi_s + 2\eta_s \eta_s \phi_s + \eta_s^2 \phi_s = \frac{Q_s}{M_s} P \cdot \cos \omega t$ - (12) これは1自由度の方程式と同じであるからその解は次のようになる。

$$\phi_s = A_s \cos \omega t + B_s \sin \omega t \quad A_s = \frac{\{1 - (\frac{\omega}{\eta_s})^2\} \frac{Q_s}{M_s} P}{\eta_s^2 \left[\{1 - (\frac{\omega}{\eta_s})^2\}^2 + 4\eta_s^2 \frac{\omega^2}{\eta_s^2} \right]^{1/2}}, \quad B_s = \frac{2\eta_s \cdot (\frac{\omega}{\eta_s})^2 \cdot \frac{Q_s}{M_s} \cdot P}{\eta_s^2 \left[\{1 - (\frac{\omega}{\eta_s})^2\}^2 + 4\eta_s^2 \frac{\omega^2}{\eta_s^2} \right]^{1/2}} - (13)$$

従がって y は次の値となる。 $y = \sqrt{(\sum_{s=1}^{\infty} X_s A_s)^2 + (\sum_{s=1}^{\infty} X_s B_s)^2} \cdot \cos(\omega t - \phi_s)$, $\phi_s = \tan^{-1} \frac{\sum_{s=1}^{\infty} X_s B_s}{\sum_{s=1}^{\infty} X_s A_s}$ - (14)

これが弾性支承上のはりの正弦波による強制振動の解である。

5. 計算結果: 以上の解析式により計算した結果を表-1に示す。計算は鉄シユーのけたの強制振動から逆算して求めた曲げ剛性を使用した。数値はT型けた $7.53 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, スラブけた $1.94 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, またフレシパッドのはね定数はT型けたで $A = 11.3 \text{ } \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$, $B = 5.65 \text{ } \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$ スラブけたで $A = 9.2 \text{ } \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$, $B = 4.6 \text{ } \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$ を使用した。この結果T型けたのフレシパッドBを除いてかなりの精度で合わせることができた。しかしブロックの影響を考慮していないこと、また実験での地盤の応答加速度が小さかったため、地盤への影響を十分調べることはできなかったことなどは今後の問題である。

この実験は国鉄の技術課題で実施したもので、御指導をいただいた鉄道技術研究所構造部、地質研究室、けたを製作されたオリエンタルコンクリート、並院を担当された高松コンサルタントの関係者の皆さまに厚く御礼申し上げます。

表-1 計算結果

け た 型 式	載 荷 荷 重	シ ュ ー 形 式	強 制 振 動 試 験 結 果						自 由 振 動	計 算 結 果		
			共振振 動数Hz	振 幅 ($\times 10^{-2}mm$)			伝達率 C/A $\times 10^2$	減 衰 定 数	から求めた 減衰定数	共振振 動数	けた中央 振 幅 ($\times 10^{-2}mm$)	計算に 使用した 減衰定数
				A 1/4中央	B 1/4端部	C 橋台						
T 型 け た	無	鉄シュー	14.405	2.99	0.66	0.152	5.08	0.025	0.023	14.40	2.99	0.025
		フレシパッドA	11.630	2.39	0.91	0.064	2.68	0.037	0.032	11.69	2.56	0.037
		フレシパッドB	10.792	1.91	0.66	0.055	2.88	0.055	0.044	10.00	2.09	0.055
ス ラ ブ け た	無	鉄シュー	8.102	11.95	2.24	0.120	1.00	0.017	0.010	8.10	11.63	0.02
		フレシパッドA	7.420	10.10	2.54	0.146	1.45	0.023	0.025	7.53	10.50	0.03
		フレシパッドB	7.020	6.65	2.13			0.030	0.031	7.04	6.80	0.05