

郊外電車による地盤振動の解析について

立命館大学大学院 学生員 〇松藤泰輔
立命館大学工学部 正員 早川 清
立命館大学工学部 正員 畠山直隆

[1]はじめに——私鉄の平面区間において電車走行による付近の地盤振動の測定を行った。振動レベル計による加速度、動電型振動計による変位と測定した。それらの波形記録を調べることにより、車輪の溶接継目部の小さいへみ通過による影響が非常に大きいことが分かった。したがって、ここでは溶接継目の影響について調べた結果と、さらに弾性理論を用いた振動波形を計算した結果について述べる。

[2]溶接継目の影響について——振動レベル計のピックアップ、動電型振動計の設置位置および溶接継目の位置は図-1に示す通りである。このレベル計、振動計による上下方向成分のみ測定を行った。一方、溶接継目部を調べると溶接部にわずかにへみができていることが分かった。図-2に実測の変位波形、図-3に実測の加速度波形を示した。図-2、図-3中のI-1-bは電車1両目第1車輪が継目部を通過していることを示す。図-2

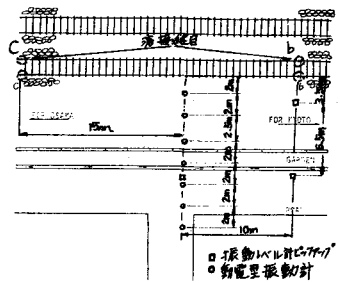


図-1 ピックアップおよび継目の位置

の変位波形を見ると、線路から2mの地点では、車輪が到線の最近接点を通過したことによる影

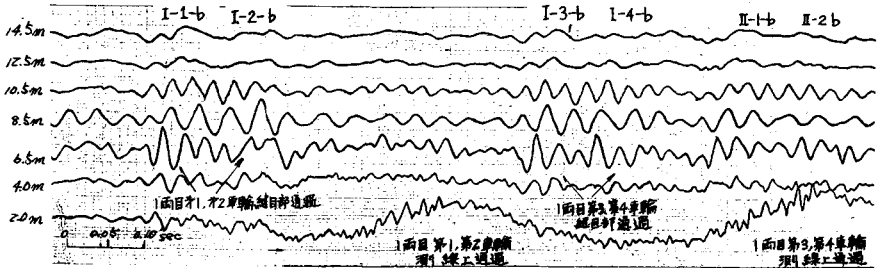


図-2 実測の変位波形

響が大きい。6.5mの地点では車輪の溶接継目部通過による影響が大きくなる。車輪が溶接継目部を通過する際に発生する振動の周波数は40Hz付近であって高いため、加速度波形では溶接継目通過による影響が強調され、図-3のように車輪の溶接継目部通過による影響しか記録されないことになる。継目部で発生する40Hz付近の周波数成分は、台車のバネ下質量、レールおよび枕木が一体となって振動する場合の固有振動数と思われる。車輪が溶接継目部を通過する際に誘発されると考えられる。

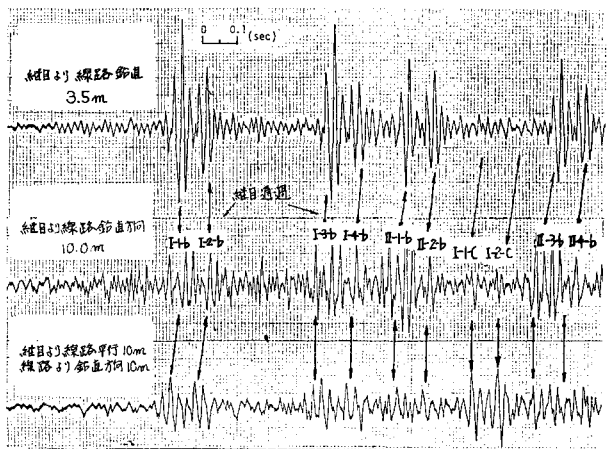


図-3 実測の加速度波形

[3]計算による波形の再現——Lambによれば、半無限弾性体表面の1点を原点とし、 λ に $Re^{i\omega t}$ なる鉛直方向同期力が働く場合、振源より r 離れた点の変位 W_0 は(1)式のようになる。

$$W_0 = \frac{\kappa R K}{\mu} \sqrt{\frac{1}{2\pi K r}} \exp\{i(\omega t - \kappa r - \frac{\pi}{4})\} \quad (1), \quad W = \beta \omega D \cdot 2 \times R \times \sqrt{r} \times \omega^{\frac{1}{2}} \times r^{-\frac{1}{2}} \exp\{i(-\frac{\omega}{v_r} r - \frac{\pi}{4})\} \quad (2)$$

ここに、 $K = -k_0 \sqrt{k^2 - k_0^2} / F(k)$, $F(k) = (2k^2 - 2k_0^2)^2 - 4k^2 v^2$, $v^2 = (k^2 - k_0^2)^2$, $v^2 = (k^2 - k_0^2)^2$, $k_0 = \omega / v_r$, $k_0 = \omega / v_s$, $\kappa = \omega / v_r$, ω は角振動数である。

ここでポアソン比を $1/3$, 土の単位体積重量を 162 t/m^3 とし(1)式を整理すると(2)式になる。 R は荷重である。 v_r を実測結果より 286 m/s , 電車走行速度を 30 m/s (108 km/h), $\omega = 2\pi \times 40 \text{ Hz}$ とし、(2)式を車輪に適用して線路から 2 m の地点の変位波形の計算をすると図-4のようになる。図-5は実測波形であり、図-4, 図-5を比べると変位の大きさ、波形ともほぼ再現できたと考えられる。

しかし、線路から 65 m の地点については変位波形の計算を行っても、溶接継目部の影響が大きいため実測波形と一致しない。次に、車輪の溶接継目部通過による影響が大きいことから、車輪が溶接継目部を通過するときに溶接継目部に衝撃力が働くと考え、加速度波形を計算により求める。

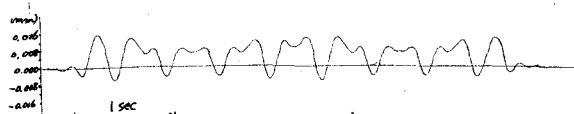


図-4 計算による変位波形

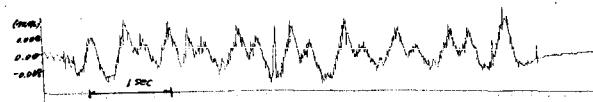


図-5 実測の変位波形

Lambによれば、半無限弾性体表面の1点に衝撃力が加わり、その衝撃力による変位が $S(t) = PL / (p^2 + t^2)$ (P, L は任意の正数) なる時間関数で表わされるとき、振源より r 離れた点の変位は(3)式のようになる。

$$W = \frac{KL}{2\mu(2rv_r)^{\frac{1}{2}} p^2} \cos 2v \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{3}{2}v) \quad (3), \quad ACC = \frac{d^2 W}{dt^2} = -0.0045235 \times L \times r^{\frac{1}{2}} \times v_r^{\frac{1}{2}} \times p^2 \cos 2v \cos(\frac{\pi}{4} - \frac{3}{2}v) \quad (4)$$

ここに、 K は(1)式と同一であり、 $\cos 2v = p / \sqrt{p^2 + t^2}$, $t = (r/v_r)$ である。ポアソン比、土の単位体積重量を(2)式の場合と同様とし(3)式を加速度に変換すると(4)式となる。振源における変位が決定できないため(4)式中の L とし、各車輪による荷重比と考え、 $P = 0.01$, $v_r = 286 \text{ m/s}$, 電車走行速度を 108 km/h , 図-6の

ように溶接継目を4つ打として、各継目に(4)式を適用して、図-6中の0点について加速度波形を計算すると図-7のようになる。図-8は実測波形であり、計算による車輪の溶接継目部通過時に極大振幅が発生して

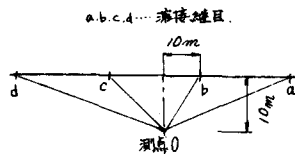


図-6 計算における点と継目の関係

いうことが再現できたと考えられる。しかし、理論計算による加速度波形では、振幅が定量的に把握できないこと、極大振幅前後の小さい振動が再現できないこと等問題があり、今後さらに検討が必要である。

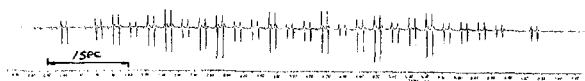


図-7 計算による加速度波形

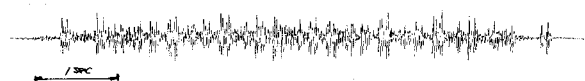


図-8 実測の加速度波形

[4]おわりに——実測波形、計算結果より電車走行により発生する地盤振動では、車輪の溶接継目部通過による影響は非常に大きく、測定、解析にあつては溶接継目部の小さいへこみによる影響を考慮する必要があると思われる。しかし、測定資料が少いため、さらに測定を重ね検討を行いたいと考えられている。