

I - 373

ノックオフ装置の設計における裏込め地盤抵抗力の算定方法の検討

(株)大林組技術研究所 正員 ○樋口 俊一

同 上 正員 菊地 敏男

同 上 正員 後藤 洋三

1. まえがき

免震橋梁の桁と橋台の遊間をあまり大きくしないための工夫の一つとして、橋台にノックオフ機構を設けることが考えられる。筆者らは本機構の実用化に向けて、ノックオフ装置の1/2模型(図1)による破壊試験を行うと共に、FEMによるシミュレーションを行いノックオフ部が滑動する時の裏込め地盤とアスファルト舗装の破壊のメカニズムを明らかにした。本研究はその結果に基づいて、ノックオフ部の滑動抵抗荷重の簡便な算定方法を提案したものである。

2. 模型実験とFEMシミュレーション

筆者らは模型実験により、ノックオフ装置の緩速載荷時および急速載荷時($v=10\text{cm/sec}$)の滑動抵抗荷重を求めると共に、裏込め地盤の破壊状況について観察した¹⁾。それに引き続いて行ったFEMシミュレーションでは、ノックオフ部と裏込め地盤の接触の問題、裏込め材の材料非線形性、および実験結果より予想された幾何学的非線形性を考慮した解析を行った²⁾。図2に滑動抵抗荷重とノックオフ部変位の関係を示したが、この解析結果は模型実験結果をうまくシミュレートしており、本解析におけるノックオフ部、裏込め地盤、アンカー筋のモデル化と材料定数の設定は妥当であったと考えられる。そこで、幅員10m、上部工重量1800tfのPC桁免震橋に設置されると想定したノックオフ装置(ノックオフ部高さ50cm、舗装厚15cm、碎石層厚35cm)について、スケールアップした解析モデルを用いて数値シミュレーションしたところ、緩速載荷時の最大反力はおよそ200tf、急速載荷の場合は、350tf程度になることがわかった。

3. ノックオフ装置の最大反力簡易計算法

模型実験とFEMシミュレーション解析より、ノックオフ部滑動時における裏込め地盤の破壊状況について、

- 1) アスファルト舗装はノックオフ部背後で折れ曲がるように破壊する。
- 2) 碎石部にはすべり面が現われる。
- 3) 裏込めがアスファルト舗装されている場合には急速載荷時の最大滑動抵抗荷重が緩速載荷時のそれに比べて増大する。

等の特徴が見い出された。これらの結果をふまえて、ノックオフ装置の設計への適用を前提とした最大反力の簡易的な計算方法について検討した。

a) 最大反力簡易計算法の提案

アスファルト舗装の破壊を、弾性床上的の梁の座屈問題としてとらえる。図3のような梁の荷重 P と変形 y の関係式は(1)式のように表わされる。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + P \frac{d^2 y}{dx^2} + ky = 0 \quad (1)$$

ここに、

E : ヤング率

I : 単位奥行き当たりの断面2次モーメント

k : 弾性床のばね値

P : 単位奥行き当たりの座屈荷重

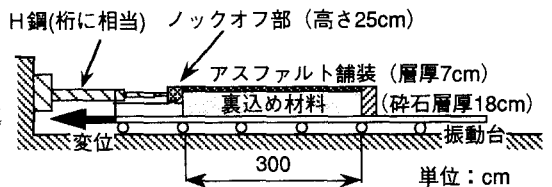


図1 ノックオフ破壊実験模型

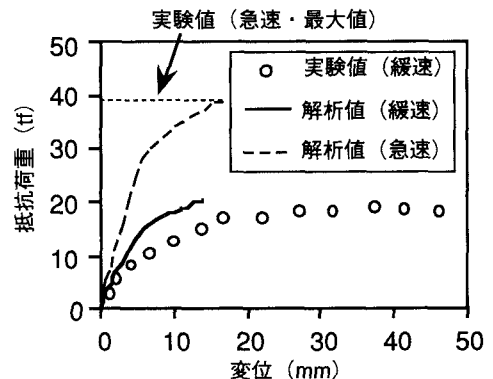


図2 荷重～変位曲線

(裏込め: アスファルト舗装+碎石)

これを最小次の座屈荷重 P について解くと、 P を最小にするような座屈長 l と座屈荷重 P について(2)、(3)の関係式が得られる。

$$l = \pi \sqrt{\frac{2EI}{P}} \quad (2)$$

$$P = 2\sqrt{EI \cdot k} \quad (3)$$

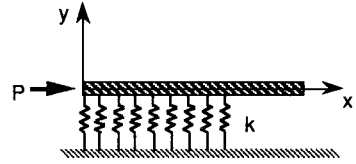


図3 解析モデル

以上に示した関係式と、模型実験で得られた最大反力および解析で用いた EI の関係から、座屈長 l とばね値 k を逆解析する。図4に示したようなノックオフ部0点まわりにおけるモーメントの釣り合いより、裏込め地盤の総反力 F に対するアスファルト舗装の寄与分 P_a は(4)式のように表わされる。

$$P_a = \frac{1}{h_a} (F \cdot h_F - P_g \cdot h_g) \quad (4)$$

ここに、

F : ノックオフ部の単位奥行き当たりの総反力、 h_F : F の作用位置

P_a : アスファルト舗装部の単位奥行き当たりの反力、 h_a : P_a の作用位置

P_g : 碎石層の単位奥行き当たりの抵抗力、 h_g : P_g の作用位置

一方、碎石部の破壊を滑り破壊と考えると、ノックオフ部が滑動する瞬間の碎石層の抵抗力 P_g はランキンの受動土圧式より(5)式のように表わされる。

$$P_g = \frac{1}{2} \gamma_g H^2 \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) + 2cH \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \quad (5)$$

ここに、

H : 碎石層厚、 γ_g : 碎石の単位重量、 ϕ : 碎石の内部摩擦角、 c : 碎石の粘着力

(2)式～(5)式と EI および実験結果より、座屈長 l とばね値 k は表2のように計算される。これより、アスファルト舗装を支えるばね値 k は、緩速および急速ばね値の平均を取って $k = 2.50 \text{ kgf/cm}^3$ とする。

一方、ばね値 k については碎石部の弾性定数 E_d と層厚 H に対して $k \propto E_d/H$ のような関係が考えられる。これより $k \cdot H = \text{const}$ を仮定する。模型では碎石層厚 $H = 18 \text{ cm}$ であったので $k \cdot H = 45.0 \text{ kgf/cm}^3$ が得られる。

b) 計算例

2の解析例で用いた実物を想定したノックオフ装置では、碎石層厚が $H = 35 \text{ cm}$ であるから、先の関係よりばね値が $k = 45.0/35 = 1.29 \text{ (kgf/cm}^3)$ になる。この値を(3)式に代入し、(4)、(5)の関係を用いて、ノックオフ装置の総反力 F を計算した結果が表3である。この値はFEM解析値とも整合しており、本計算方法の妥当性が示されたと言える。

4. まとめ

ノックオフ滑動時における最大抵抗荷重を、裏込め地盤部のすべり破壊およびアスファルト舗装部の座屈破壊を仮定した簡易計算法によって求めると、実験値ならびにFEM解析値と一致する。このことから、本計算法の考え方が妥当であると言える。

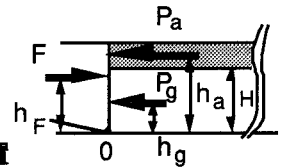


図4 ノックオフ部のモーメントの釣り合い

表1 解析モデルの材料定数

裏込め材料	砕 石	アスファルト	
		緩 速	急 速
弾性定数(kgf/cm ²)	140	2 000	4 700
内部摩擦角(deg)	40	—	—
粘着力 (kgf/cm ²)	0.10	—	—
単位重量(kgf/m ³)	2 100	2 250	←

表2 模型実験結果より推定した座屈長 l とばね値 k

	F (kgf/m)	E_d (kgf/cm ²)	P_a (kgf/m)	l (cm)	k (kgf/cm ³)
緩 速	9 500	2 000	6 400	133	1.78
急 速	19 300	4 700	13 200	142	3.21

表3 実大ノックオフ装置の総反力 F (全幅10m)

	計 算 値	FEM
緩 速	270	200
急 速	390	350

(単位: tf)

(参考文献)

- 1) 菊地、後藤、黒岩: ノックオフ機能付き橋台の模型実験結果について、土木学会第46回年講概要集、第1部、1991年9月
- 2) 樋口、菊地、後藤: ノックオフ装置裏込め地盤抵抗の数値解析による検討、土木学会第47回年講概要集、第1部、1992年9月