

(206) 免震橋用ロックオフ滑動抵抗力算定方法の提案

(株)大林組技術研究所 正会員 ○樋口 俊一
 同 上 正会員 後藤 洋三
 同 上 正会員 菊地 敏男

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、橋台にロックオフ機構を設けることが考えられる。本機構は、地震時に橋桁が橋台の頂部に衝突した場合には、ロックオフ装置のブロックが裏込め地盤の方向に移動し、変位を吸収するものである。筆者らは本機構の実用化に向けて、ロックオフ装置の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ロ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、ロ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、ロックオフ装置の緩速載荷時および急速載荷時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⁾(写真1)。それに引き続いて行ったFEMシミュレーションでは、ロ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明らかになったアスファルト舗装の抵抗力の荷重速度依存性を考慮した解析を行った²⁾。その結果、解析におけるロックオフ部変位と滑動抵抗荷重の関係(図2)及び裏込め部の変形状況は模型実験結果をうまくシミュレートしており、本解析モデルのロックオフ部、裏込め地盤、アンカー筋のモデル化と材料定数の設定の妥当性が示された。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ロックオフ装置(図3)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およそ200tf、急速載荷の場合

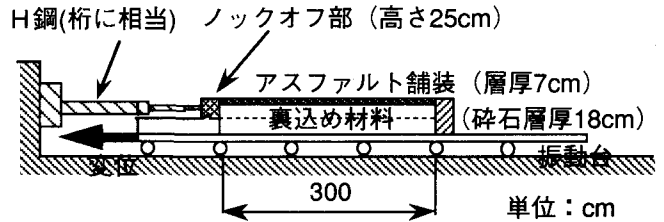


図1-(a) ロックオフ破壊実験模型

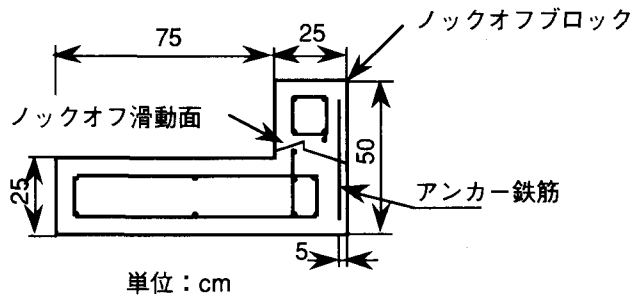


図1-(b) ロックオフ部詳細図

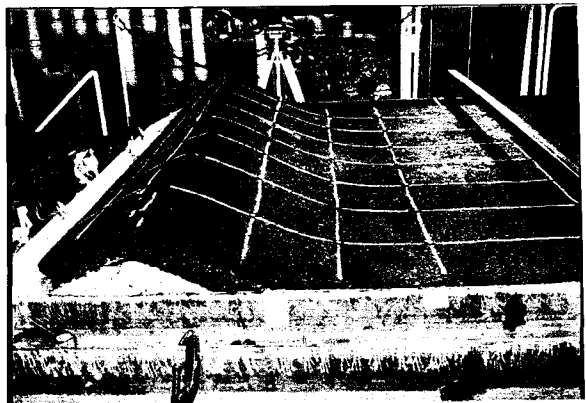


写真1 裏込め地盤の破壊状況(実験)

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) 碎石部はすべり破壊する。
- 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

1) で述べたような破壊時の特徴から、アスファルト舗装の破壊を、弾性床の上の梁の座屈問題としてとらえる。図4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

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。

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

よってアスファルト舗装部の最大反力は(3)式であらわされると考えられる。一方、図5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

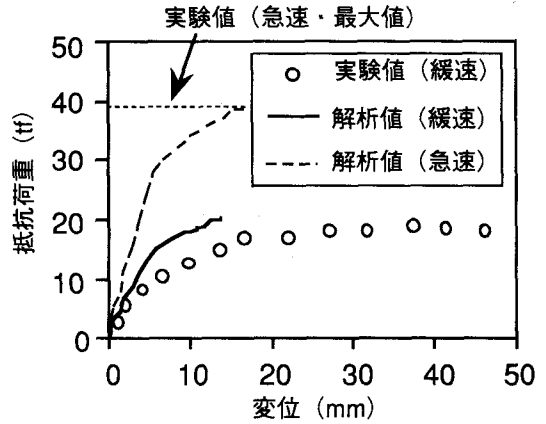


図2 荷重～変位曲線

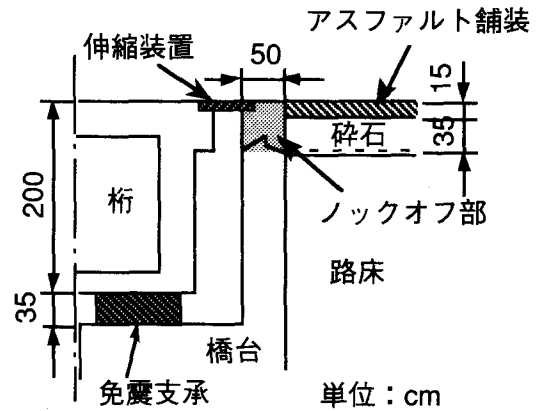


図3 実大解析モデル

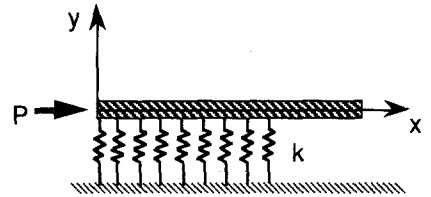


図4 解析モデル

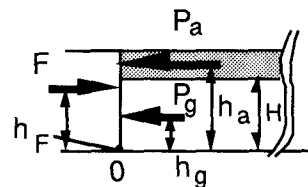


図5 ノックオフ部のモーメントの釣り合い

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

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。

ここに、

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

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

(3)、(4)、(5)式よりノックオフ部の滑動抵抗力が計算できる。

b) 裏込め地盤の材料定数の設定方法

裏込め地盤材料のうち下層部を構成する碎石については、静的な要素試験によって得られた材料定数を用いることにした。

次に、アスファルト舗装の材料定数について説明する。a) で提案した解析方法によれば、ノックオフ部の最大滑動抵抗荷重がアスファルト舗装部の弾性定数に支配されることは明らかである。アスファルト材料については多くの研究がなされており、それらによってアスファルト混合物の変形挙動が載荷時間や温度にかなり影響を受けることが明らかになっている。本研究では、異なった温度下での静的な要素試験により、アスファルト混合物の弾性定数の温度依存性について調べ、これより実験時(20℃)のアスファルト舗装の静的(緩速載荷時)弾性定数を設定した。図6に要素試験で求めたアスファルト混合物の弾性定数と温度の関係を示す。一方、載荷速度の影響については今回は動的な要素試験を行っていないため、静的弾性定数をもとに笠原らのアスファルト混合物の動的性状に関する一連の研究結果^{3) 4) 5)}を参考にして設定した。図7にアスファルト混合物の弾性定数と載荷時間の関係を示したが、ここで急速載荷時の載荷速度が緩速載荷時の30倍として、温度20℃のときの勾配を用いて動的弾性定数を求めた。なお、本研究では微小変形領域でのいわゆる変形係数をアスファルトの弾性定数として定義した。表1に解析モデルの材料定数を示す。

c) 地盤のばね値の設定

a) で求めた関係式と、模型実験で得られた最大反力および解析モデルのE、Iの関係から、座屈長 l とばね値 k を逆解析すると、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裏込め

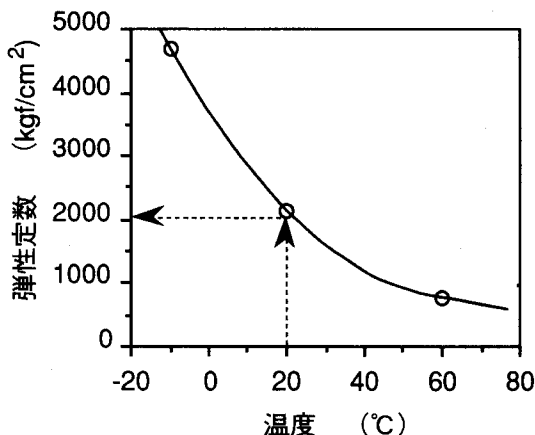


図6 アスファルト混合物の弾性定数の温度依存性

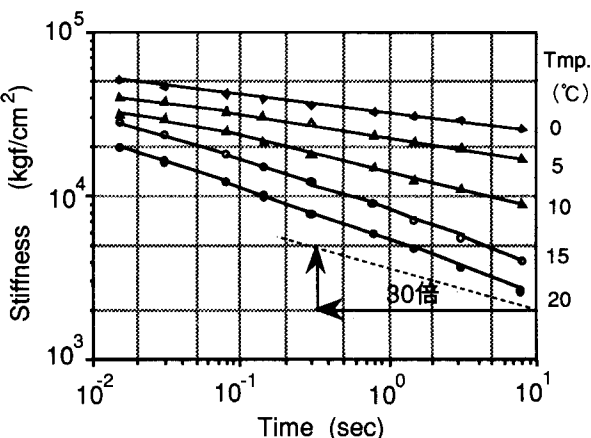


図7 アスファルト混合物の弾性定数の載荷速度依存性⁵⁾

表1 解析モデルの材料定数

裏込め材料	碎石	アスファルト	
		緩速	急速
構成関係	弾・塑性	←	←
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	←

地盤のばね値 k として、緩速および急速ばね値の平均を取ることとし、ここでは $k=2.50\text{kgf/cm}^3$ である。

一方、ばね値 k については碎石部の弾性定数 E_s と層厚 H に対して

$$k \propto \frac{E_s}{H} \quad (6)$$

のような関係が想定される。これより

$$k \cdot H = \text{const.} \quad (7)$$

を仮定する。模型では碎石層厚 $H=18\text{cm}$ であったので $kH=45.0\text{kgf/cm}^2$ が得られる。

d) 計算例

2の解析例で用いた実物を想定したロックオフ装置(図3)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、ロ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

ロ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。

なお本研究の内容の一部は、建設省土木研究所と民間28社の共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」の一環として実施されたものであることを付記する。

(参考文献)

- 1) 菊地敏男・後藤洋三・黒岩正夫：ロ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回年次学術講演会概要集，第1部，pp.1394-1395，1991年9月
- 2) 樋口俊一・菊地敏男・後藤洋三：ロ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回年次学術講演会概要集，第1部，pp.740-741，1992年9月
- 3) 菅原照雄・笠原篤：アスファルト合材の動的応答と疲労について，道路建設，No.295，pp.43-53，1978年8月
- 4) 笠原篤・菅原照雄：アスファルト混合物の動的応答に関する研究，土木学会論文報告集，第215号，pp.75-82，1973年7月
- 5) 笠原篤・岡川秀幸・菅原照雄：アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用，土木学会論文報告集，第254号，pp.107-117，1976年10月

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 実大ロ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)