

I-779

土中式プレキャストガードフェンス の単体挙動に関する衝撃応答解析

防衛大学校 学生員 ○奥田 将樹 日本サミコン(株) 正 員 小林 一隆
防衛大学校 正 員 香月 智 防衛大学校 正 員 石川 信隆

1. 緒 言 欧米の高速道路にコンクリート製プレキャストガードフェンス(以下、PGFと呼ぶ)が普及しているが、その種類には固定式と固定せずに滑動の摩擦によって抵抗する移動式とがある。車両衝突時の緩和には移動式が優れているが、過度の移動には通行障害になる場合がある。そこで、PGFを土中に埋め込んだ土中式PGFを開発することによって、緩衝効果と移動制御を同時に行うことが検討されている。先に著者ら¹⁾は、単体PGFの衝撃実験を行い、基礎的な検討を行ったが、ここでは、さらに土中式PGFの単体挙動をばね-質点系モデルを用いた衝撃応答解析法によって検討したものである。

2. 解析の概要

(1) 解析モデル 図-1は、ゴム式水平載荷装置を用いた土中式PGFの衝撃載荷概要を示したもので、衝突車両の前面を発泡スチロールで模擬した衝突体(100kgf)を土中に埋め込んだPGF供試体に衝突させるものである。この衝突実験結果の一部は既に報告¹⁾したので、ここでは図-2に示すようなばね-質点系モデルを用いて衝撃応答解析を試みた。すなわち、衝突体は水平移動のみ行うものとし、衝突点に設けた局部バネの定数は、図-3に示すように実験に用いた発泡スチロールの静的実験を行うことにより決定した。

また、並列するダッシュポットの係数Cは、初期バネ定数kと衝突体質量mから決定される($C=2h\sqrt{mk}$ 、ただし、 $h=0.1$)。ここで、PGFは、重心において水平、垂直、回転の3自由度を有するものとし、砂地盤をモデル化した図-2に示す $Q_1\sim Q_{12}$ の12ヶのバネとダッシュポットによって支えられているものとした。また、PGF面に垂直方向に設けた地盤バネについては、実験で得られた土圧計の記録を参考にして、図-4(a)に示すように圧縮方向のみに作用する硬化型弾塑性モデルとした。また滑り方向地盤バ

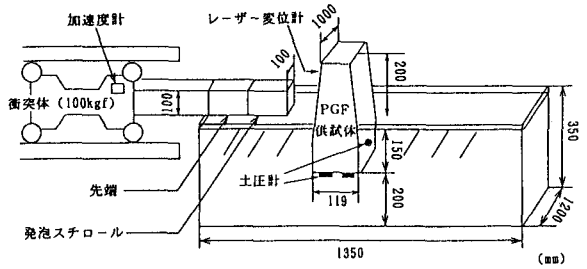


図-1 実験概要

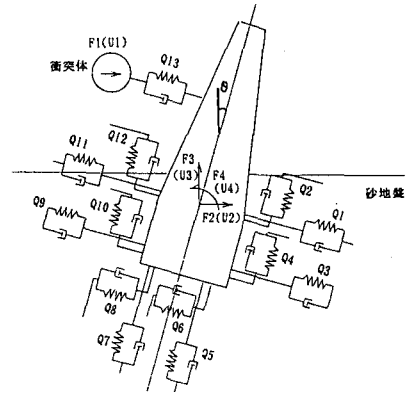


図-2 解析モデル

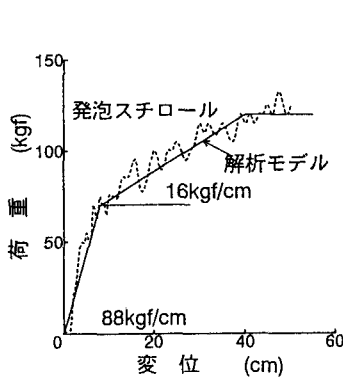


図-3 局部バネ(発泡スチロール)の荷重変位関係

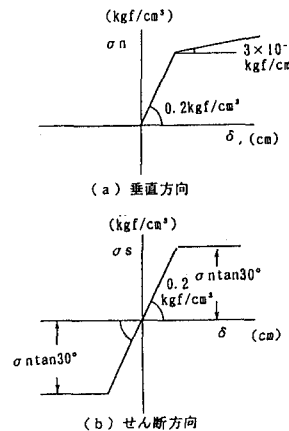


図-4 砂地盤バネの弾塑性モデル

ネは、砂の動的摩擦係数を 30° と仮定し、図-4（b）に示すクーロンモデルによる完全弾塑性モデルとした。

（2）解析の基本式 まず、時刻 t および $t + \Delta t$ の運動方程式は、次のように表される。

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}(t)\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}(t)\mathbf{u}(t) = \mathbf{F}(t) \cdots \cdots (1)$$

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}}(t+\Delta t) + \mathbf{C}(t+\Delta t)\dot{\mathbf{u}}(t+\Delta t) + \mathbf{K}(t+\Delta t)\mathbf{u}(t+\Delta t) = \mathbf{F}(t+\Delta t) \cdots (2)$$

ただし、 $\mathbf{m}$ ：質量マトリクス、 $\mathbf{C}$ ：減衰マトリクス、 $\mathbf{K}$ ：構造剛性マトリクス、 $\mathbf{F}$ ：外力ベクトル、 $\ddot{\mathbf{u}}$ ：加速度ベクトル、 $\dot{\mathbf{u}}$ ：速度ベクトル、 $\mathbf{u}$ ：変位ベクトル。

本研究では、式（1）、（2）において、PGFの回転 θ の変化を逐次時刻歴毎に剛性マトリクス $\mathbf{K}$ や減衰マトリクス $\mathbf{C}$ の中に導入してその変化を考慮して解くことにした。すなわち、式（1）、（2）をニューマーク β 法と連立して解けば次式のような加速度 $\ddot{\mathbf{u}}(t+\Delta t)$ が得られる。

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{u}}(t+\Delta t) = & [\mathbf{m} + \mathbf{C}\Delta t/2 + \beta\mathbf{K}\Delta t^2]^{-1} [\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}}(t) \\ & + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}\Delta t/2 - (1/2 - \beta)\mathbf{K}\ddot{\mathbf{u}}(t)(\Delta t)^2 \\ & - \mathbf{K}\dot{\mathbf{u}}(t)\Delta t + \mathbf{F}(t+\Delta t) - \mathbf{F}(t)] \cdots (3) \end{aligned}$$

また、応答速度および応答変位はそれぞれ次式のように算定される。

$$\dot{\mathbf{u}}(t+\Delta t) = \dot{\mathbf{u}}(t) + (\ddot{\mathbf{u}}(t) + \ddot{\mathbf{u}}(t+\Delta t))\Delta t/2 \cdots (4)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{u}(t+\Delta t) = & \mathbf{u}(t) + \dot{\mathbf{u}}(t)\Delta t + (1/2 - \beta)\ddot{\mathbf{u}}(t)(\Delta t)^2 \\ & + \beta\ddot{\mathbf{u}}(t+\Delta t)(\Delta t)^2 \cdots \cdots (5) \end{aligned}$$

3. 解析結果と考察

数値計算で用いた入力データとしては、実験で用いた衝突速度 $V=1.5\text{m/sec}$ 、模擬車両の重量を $W=100\text{kgf}$ 、図-1に示すPGF供試体の寸法、図-3の局部バネ係数および図-4の砂地盤のばね係数などで、減衰係数 $C=3.3$ を用いた。

図-5は、PGF重心の変位～時間関係を示したもので、これよりPGFは当初大きく水平移動（ u_x ）と回転（ θ ）を起した後、若干押し戻されるが、残留変位を残したまま停止することが分かる。実験においても図-6（a）に示すように残留変位が生じたので、解析結果も図-5中の t_{end} における変位図を、図-6（b）のようなPGF単体の全体変形図として示し比較した。これより、解析では、水平変位は過大、回転は過小に評価する傾向が見られる。これは、図-4で示した砂バネ係数の問題と思われ、今後さらに検討を行う予定である。

図-7には、模擬車両に生じた加速度の時刻歴応答を示したもので、実験値と比較している。これより、時間的に若干の位相のずれを生じているが、最大加速度は、ほぼ実験値と一致していることが認められる。

参考文献

- 1) 奥田将樹・小林一隆・石川信隆：土中埋め込み式プレキャストガードフェンスの単体挙動に関する衝撃実験、第21回関東支部技術研究発表会、土木学会関東支部、pp.98～99、1994年3月
- 2) 戸川 隼人：有限要素法による振動解析、pp.41～44、サイエンス社、1975年10月

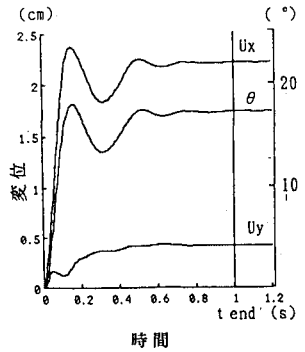


図-5 PGF重心の変位～時間関係
（衝突速度1.5m/s）

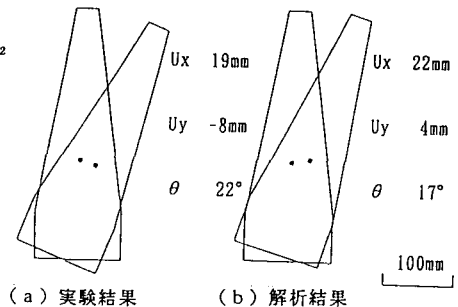


図-6 PGF単体の衝突後1SEC時全体変形図
（衝突速度1.5m/s）

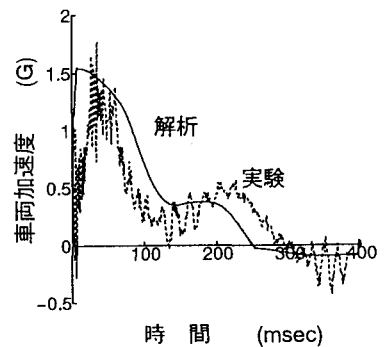


図-7 模擬車両の受ける加速度
（衝突速度1.5m/s）