

セグメントの多段積み備蓄時耐震安全性に関するシミュレーション解析

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 学生会員 ○寺島 博明
 首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正会員 長嶋 文雄
 石川島建材工業（株） 正会員 橋本 博英
 石川島建材工業（株） 正会員 阿部 義

1. はじめに

大型コンクリート二次製品がストックヤードに不安定な形態で備蓄されていることがあり、地震時における安全性の検討の必要性が求められている。そこで、本研究ではシールドトンネルのセグメントの備蓄時における耐震安全性の検討を行う。これまでの研究ではセグメント単体の転倒実験及びシミュレーション解析が行われ、周波数や入力波のなす角によるロッキング、転倒との関係が明らかにされた。そして、実際のセグメントストック状況(写真-1)を考慮し、セグメントを複数並べ、多段に積んだ状態での検討が必要となった。これらを踏まえて、セグメントの多段積みに関する二次製品の相互作用の影響を明らかにし、製品群としての耐震安全性の検討を目的としてシミュレーション解析を行った。



写真-1 セグメントストック状況

2. 転倒限界加速度の算出

本年度用いたセグメントモデルの側面図を以下の図-1 に示す。セグメント単体の場合、重心位置に全質量を集中させ、加速度 α による転倒モーメントと抵抗モーメントの大小関係を考えると、次の不等式が成り立つとき転倒が生じる。式(1),(2)を式変形すると、(3),(4)が転倒限界加速度に関する式になる。

$$m\alpha \times \frac{h}{2} > mg(x-e) \rightarrow (1) \text{前に倒れる場合} \quad \alpha > \frac{2g(x-e)}{h} \rightarrow (3) \text{前に倒れるときの転倒限界加速度}$$

$$m\alpha \times \frac{h}{2} > mge \rightarrow (2) \text{後ろに倒れる場合} \quad \alpha > \frac{2ge}{h} \rightarrow (4) \text{後ろに倒れるときの転倒限界加速度}$$

表-1 セグメントの変数一覧表

変数	変数の説明	値
h(mm)	セグメントの高さ	1600
e(mm)	偏心量	344
x(mm)	セグメントの外側から転倒支点までの距離	773
m(kg)	セグメントの質量	4811
g(mm/s ²)	重力加速度	9800
α (gal)	転倒限界加速度(理論値)	422

表-2 セグメント及び台木の物性値

	セグメント	台木
質量密度 ρ_0 (kg/mm ³)	2.45E-06	2.77E-07
ヤング係数 E (N/mm ²)	2.30E+07	1.30E+07
ポアソン比 ρ_0	1.80E-01	1.50E-01

この α がセグメント単体の理論上の転倒限界加速度である。本研究ではセグメントを多段に積んだ場合、上式の理論値と比較してどのくらい不安定になるかを調べることにした。

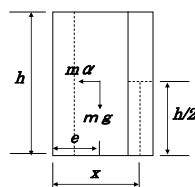


図-1 セグメントの側面図

3. シミュレーション解析

3.1 解析条件

汎用解析プログラムで有限要素法を用いてシミュレーション解析を行った。台木の全ての節点に強制入力変位を与えた。入力変位は y 軸方向に与え、周波数 1.0Hz、振幅 40mm～200mm、3 波毎に 40mm 刻みで増加、入力最大加速度 790gal とした。台木の底面の節点は y 軸方向以外を拘束した。またセグメントと台木の静摩擦係数を 0.6、動摩擦係数を 0.2 とし、セグメント同士はともに 0.5 とした。セグメントと台木はともに弾性体とし、それぞれの質量密度、ヤング係数、ポアソン比といった物性値を表-2 にまとめた。セグメントの要素分割数は横に 14 分割とした。縦の分割数はセグメント単体において 1～4 分割で解析を行ったところ、同様な結果が得られた。よって、計算時間短縮を考慮して、縦の分割数は 1 分割を採用した。セグメントはロッキングを開始してから転倒するまで時間を要するが、安全性の判定基準はロッキング開始時までの入力最大加速度とした。

キーワード：セグメント、備蓄製品、ストックヤード、耐震安全性、安定供給

連絡先：〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-12-1 石川島建材工業（株）セグメント事業本部 TEL 03-5221-7240

3.2 解析結果

(1) 1 段の場合

セグメント単体でのシミュレーション解析を行った後に、セグメントを3列に並べて解析を行った。その挙動と強制変位より、ロッキングは3個同時に7.24sに開始したと言える(図-2 参照)。そのときまでの入力最大加速度は約470galである。この値はセグメント単体の転倒加速度と同等であり、3個のセグメントと台木の接触条件を等しくすることができたと言える。また転倒加速度の理論値422galと近い値となった。

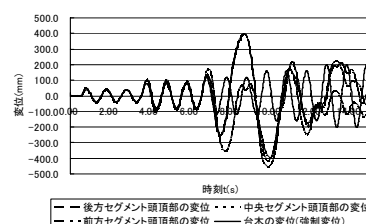


図-2 3列のセグメント頭頂部と台木の変位

(2) 2 段(上段1個, 下段3個)の場合

続いてセグメントを2段に積んで同じ強制変位を与えてシミュレーションを行った。上段に1個, 下段に3個並べたモデルを図-3に示す。図-4より上段のセグメントは4.26sにロッキングを開始する。このときまでの最大加速度は約320galである。この値はセグメント単体で得られた約470galの70%弱, 理論値422galの80%弱である。これは上段のセグメントを直接支える台木の加速度が、上段がロッキングを開始する時刻に単体の場合の加速度に達しており、それが原因ではないかと考えられる。下段のセグメントは10.26sに3個同時にロッキングを開始する。この時刻までの最大加速度は約620galであり、この値は単体で得られた値の130%強となった。下段のセグメントはその上に台木やセグメントを置くことによって安定したと言える。

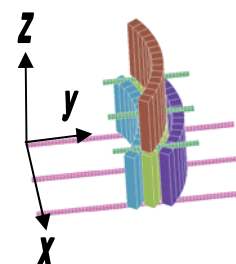


図-3 2段の解析モデル

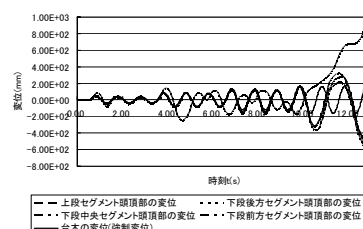


図-4 上段1個, 下段3個のときの変位

(3) 3 段(上段3個, 中段3個, 下段3個)の場合

次に3段に3個ずつセグメントを並べ解析を行った。図-5より上段のセグメントは1.76sでロッキングを開始し、最大加速度は約160galである。この値は理論値の40%弱となった。図-6より中段は5.26sに同時にロッキングを開始し、最大加速度は約320galである。これは2段のときの上段と変わらない。図-7より下段のセグメントは後方のセグメントが9.72sにロッキングを開始し、残りの2個は10.24sにロッキングを開始する。ともに最大加速度は約620galである。これも2段の下段と同じ値となった。

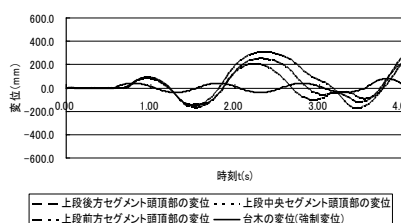


図-5 上段3個の頭頂部と台木の変位

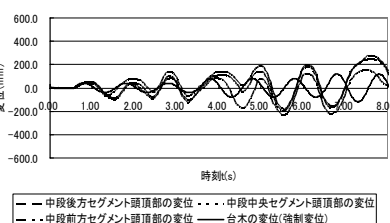


図-6 中段3個の頭頂部と台木の変位

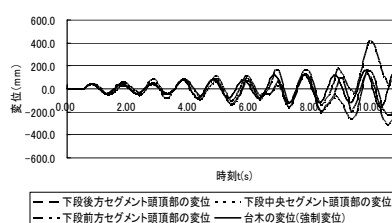


図-7 下段3個の頭頂部と台木の変位

4. おわりに

セグメントを多段に重ねると、上段のセグメントのロッキング開始時刻が単体の場合より早くなり、下段は遅くなることが確認できた。多段積みにおいては相対的な重心位置の上昇が起こり、耐震安定性が低下する。今後はダンパーを用いた耐震安全性の検討や、x軸方向から強制変位を与えたときの安全性を確かめていく(図-3 参照)。解析では台木の剛性やセグメントと台木の接触部のモデル化がセグメントの加速度に大きな影響を及ぼすと考えられる。

参考文献 1) 「ストックヤードにおけるセグメントの耐震安全性に関する検討」土木学会第60年次学術講演会(平成17年9月)