

運輸省港湾技術研究所

正会員 ○風間基樹

今村俊博

稲富隆昌

1. まえがき 近年、地下タンク、橋脚・橋台のケーソン基礎、深層混合処理工法による改良地盤の様に、比較的剛性の高い構造物が地下に構築される例が多くなって来た。地下に埋設された剛構造物は地上の構造物に比べて、側方にも地盤が存在するため、その構造物の地震時の挙動を検討するときは、地盤-構造物の動的相互作用が重要な課題となる。地震観測結果によると地中の剛構造物は周辺地盤に比較して地震応答が小さいこと、また、構造物周囲の地盤の存在によりロッキング振動がでて来ることが報告されている。ここでは、剛体構造物の地震時挙動を適切に把握するために、地震時の剛体中の任意点の震害記録から剛体運動を並進成分と回転成分に分離することを試みたので、その結果を報告する。

## 2. 剛体運動を並進成分と回転成分に分離する方法

剛体運動は図-1に示す様に、剛体の重心の並進運動と剛体の重心まわりの回転運動の合成として表現される。今、図-1の様に剛体に変形している状態を考えると、剛体中の任意の点  $P(x, y)$  の変形後における相対変位ベクトル  $\vec{PP'}$  は、剛体の重心の運動  $(u_g, v_g)$  と回転角  $\theta$  を用いて次式で表わされる。

$$\vec{PP'} = \begin{bmatrix} x(\cos\theta - 1) - y\sin\theta + u_g, x\sin\theta + y(\cos\theta - 1) + v_g \end{bmatrix} \quad \dots (1) \text{式}$$

上式で  $\theta$  を微小と考えれば、

$$\vec{PP'} = (u_g - y\theta, v_g + x\theta) \quad \dots (2) \text{式} \quad \text{となる。}$$

さて、今、剛体中の  $N$  個の観測点の加速度記録が得られているとすれば、 $i$  番目の観測点の加速度時刻歴は (2) 式を用いて

$$\left. \begin{aligned} u_i &= u_g - y_i\theta + \delta u_i \\ v_i &= v_g + x_i\theta + \delta v_i \end{aligned} \right\} \quad \dots (3) \text{式}$$
 で表現される。ここで、 $(u_i, v_i)$  は  $i$  番目の観測点の加速度、 $(x_i, y_i)$  は  $i$  番目の観測点の剛体重心を原点とする座標、 $(u_g, v_g, \theta)$  は剛体の並進成分と回転成分である。また、 $(\delta u_i, \delta v_i)$  は誤差を意味し、観測上の誤差はもとより剛体仮定している構造物の弾性変形による誤差も含む。次に、(3)式に最小2乗法を適用する。すなわち、次の条件を考える。

$$\frac{\partial \left[ \sum_{i=1}^N (\delta u_i^2 + \delta v_i^2) \right]}{\partial u_g} = 0, \quad \frac{\partial \left[ \sum_{i=1}^N (\delta u_i^2 + \delta v_i^2) \right]}{\partial v_g} = 0, \quad \frac{\partial \left[ \sum_{i=1}^N (\delta u_i^2 + \delta v_i^2) \right]}{\partial \theta} = 0 \quad \dots (4.5.6) \text{式}$$

上記の3条件より、 $(u_g, v_g, \theta)$  について次式を得る。

$$\begin{pmatrix} N & 0 & -\sum_{i=1}^N y_i \\ 0 & N & \sum_{i=1}^N x_i \\ \text{sym.} & \sum_{i=1}^N x_i^2 + y_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_g \\ v_g \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N u_i \\ \sum_{i=1}^N v_i \\ \sum_{i=1}^N (x_i v_i - y_i u_i) \end{pmatrix} \quad \dots (7) \text{式}$$

(7)式は、各時刻に成立するので、刻々のデータについて(7)式を解くことにより、剛体の並進の時刻歴  $u_g(t)$  と、 $v_g(t)$ 、回転角の時刻歴  $\theta(t)$  を得ることが出来る。

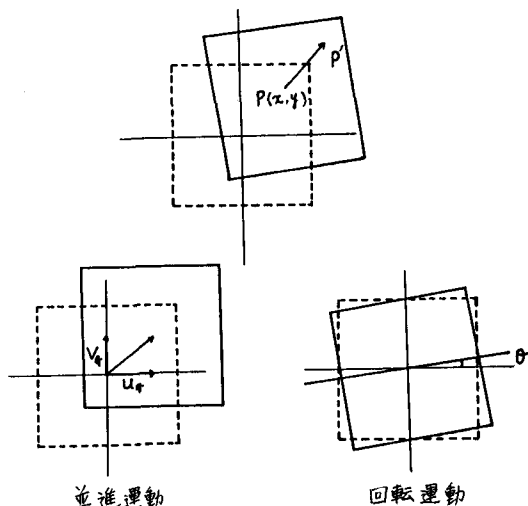


図-1 剛体運動の模式図

3. 適用例 横浜港の大黒埠頭では、深層混合処理工法で改良された地盤の耐震性を検討するために、地震観測が実施されている<sup>3)</sup>。深層混合処理工法によって改良された地盤は、周辺の粘性土地盤と比較すると、著しく剛な地盤となり地中の剛構造物とみなすことができる。そこで、本論で示した手法を適用し、改良地盤の運動を並進成分と回転成分に分離する。なお、改良地盤中の観測点は図-2に示す通り、st.5, 6, 8の3点である。使用する表は、1983年8月8日の神奈川・山梨県境の地震で得られた上記3点の水平成分と上下成分である。

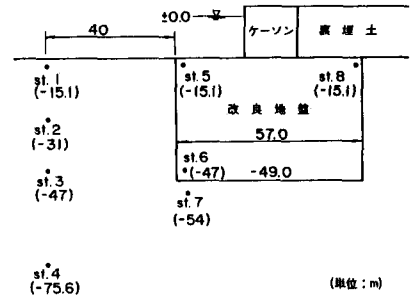


図-2 地震計の配置

図-3は、ST.5の観測波の水平成分と上下成分、分離された改良地盤の並進水平成分、並進上下成分、回転に伴うST.5の水平成分の加速度波形である。最大加速度に着目すれば、観測記録中に含まれる並進水平成分の7.4 Galに対し、回転成分は4.6 Galとなっており、回転に伴う水平成分も無視できない。また、図-3の右側には分離された各成分のパワースペクトルを示しているが、並進水平成分は1 Hz以下、並進上下成分は1.7 Hz付近、回転成分は1.5 Hz以上の成分が多いことがわかる。図-4は、計算に使用した観測波の主要動8秒間の部分に、バンドパスフィルターをかけて、対応する地盤の地震表を各周波数成分ごとに重ね書きしたものである。図から周波数が高くなるほど、回転運動に対応する位相特性が顕著になることがわかる。このことは、図-3のスペクトルからも推測されるが、観測波の時刻歴から確認されたことは、本手法の妥当性も示すものと考えられる。

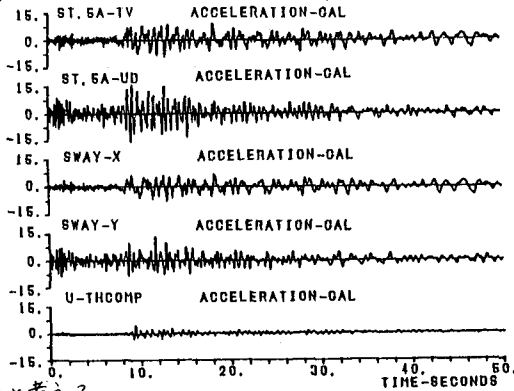


図-3

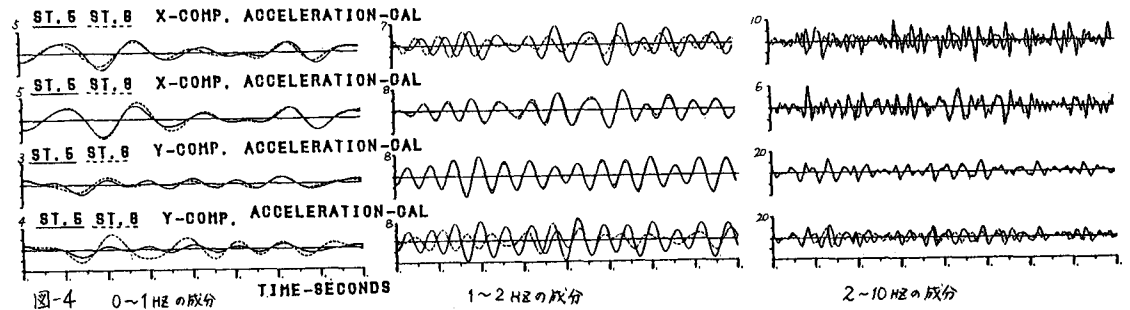
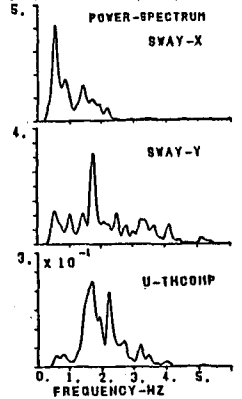


図-4 0-1 Hzの成分 1-2 Hzの成分 2-10 Hzの成分

4. あとがき 剛体構造物の地震時安定性を検討するとき、大別して滑動と転倒の破壊モードを考える例が多いことを考えると、観測記録中に回転に伴う成分<sup>4)</sup>の程度含まれているかを知ることは重要であると思われる。また、剛体の寸法効果を考慮して地震応答を評価する際にも、応答を並進と回転に分けて考えることと便利である。本論では、深層混合処理工法による浮型改良地盤について観測記録から、剛体の並進運動と回転運動の分離を試みた。その結果、今回の例では、剛体の回転成分は高い振動数領域に多く、加速度記録に有意に表われることがわかった。参考文献) 1) 澤田,他: セメント系地盤改良の耐震効果に関する研究-地震観測(からみた改良地盤の制震効果(2)- 電力中央研究所報告 381032 (S57.4) 2) 稲富: 深層混合処理工法による改良地盤の耐震設計について、港湾技術研究所59年度講演会講演集 1984.12 3) 岡田,他: 深層混合処理工法による改良地盤の地震観測-横浜港大黒埠頭における浮型改良地盤について-第39回年次学術講演会, 1984.10 4) 例として、原田,他: 地震波の有限入力の考えとその実測例による検討、第15回地震工学研究発表会 1979.7