

地震動波形が剛体ブロックの残留変形量に及ぼす影響について

東北大学大学院 学生会員 ○宮崎拓也
 東北大学 正会員 風間基樹
 東北大学 正会員 柳澤栄司

1.はじめに

1995年兵庫県南部地震では、港湾施設も大きな被害を受けた。たとえばコンテナターミナルの大型クレーンは、脚部が股裂き状態になり脚座屈や脱輪が生じ、その内の1基は倒壊した¹⁾。仮に岸壁などの耐震性が高く、クレーン本体の脚座屈等も発生しないとすれば、クレーンのスライディングやロッキングによる地震後のクレーンの残留変位が問題になると考えられる。地震時の慣性力は構造物に応力を発生させ危険であるが、構造物によっては地震時の最大変形量よりも最終的に生じる残留変形の方が重要なものがある。本研究ではNewmarkのスライディングブロック法を用いて残留変位量に及ぼす地震波形の影響を調べた。

2.解析方法

Newmarkのスライディングブロック²⁾では地面とブロックの抵抗には剛-塑性抵抗を仮定しているが、本研究では弾-塑性抵抗および粘性抵抗が生じると仮定して、残留変形量を求める。考えているモデルを図1に示す。地面の加速度、速度、変位をそれぞれ a_1, v_1, d_1 としブロックの絶対加速度、絶対速度、絶対変位を a_2, v_2, d_2 とすると、運動方程式は、

$$a_2 = -2h\omega_0(v_2 - v_1) - \omega_0^2(d_2 - d_1) \quad \omega_0^2(d_2 - d_1) < \mu g \text{ のとき (滑動前)}$$

$$= -2h\omega_0(v_2 - v_1) - \mu g \quad \omega_0^2(d_2 - d_1) \geq \mu g \text{ のとき (滑動後)}$$

のように書ける。ここに、 ω_0 は固有角振動数、 h は減衰定数、 μ は摩擦係数である。この運動方程式を時間に関して離散化し、ブロックの絶対加速度 a_2 からニューマークの β 法を用いてブロックの絶対速度、絶対変位をもとめた。そして地面の変位とブロックの絶対変位から残留変位を求めた。

用いた地震波形は1993年釧路沖地震の釧路港における地表面観測波（NS成分,最大469Gal）、1993年北海道南西沖地震の函館港（N03W成分,最大118gal）および室蘭港（NS成分,最大217Gal）における地表面観測波を使用した。パラメータは固有振動数 ω_0 、滑り摩擦係数 μ および減衰定数 h である。それぞれの入力地震波について、最大加速度を50~1000galまで50galごとに变化させて残留変位量を求めた。

3.結果および考察

図3は摩擦係数 $\mu = 0.2$ 、減衰定数 $h = 2\%$ 、弾性ブロックの固有周期（ $T_0 = 2\pi/\omega_0$ ）1秒において、最大加速度を500Galに補正した室蘭波を入力したときのブロックの時刻歴相対変位量を示している。

図4~6は摩擦係数 $\mu = 0.2$ 、減衰定数 $h = 2\%$ 、固有周期1秒において、釧路、函館および室蘭波を入力した場合の残留変位の変化を示したものである。パラメータが同じでも地震波によって残留変位の傾向は異なる。また、加速度レベルを上げていっても、残留変位量は線形には増加しない。例えば、図5函館波では600Galを境界にして残留変位の出る方向が逆転している。残留変位量の大きさは、地震動の最大加速度には無関係であり、この例では、函館港の地震波が一番大きな残留変位を与えている。

図7は固有周期の違いによる残留変位の変化を示している。摩擦係数 $\mu = 0.2$ 、減衰定数 $h = 2\%$ で固有周期 T が1.0秒と0.2秒のブロックに室蘭波を入力したものである。剛体ブロックの固有周期が異なると残留変位の生じる方向が異なることがわかる。

図8は減衰定数の違いによる残留変位の変化を示している。摩擦係数 $\mu = 0.2$ 、固有周期 $T = 1.0$ 秒で減衰定数 h が2%と5%のブロックに函館波を入力した

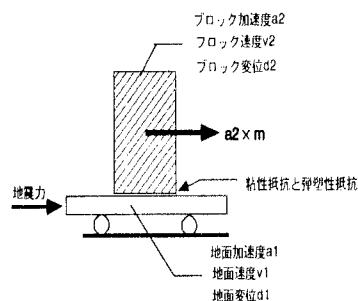


図1 地面とブロックのモデル

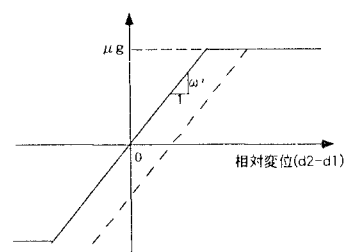


図2 弾-塑性抵抗に起因する a_2

ものである。減衰定数を h を変化させたとき、残留変位量は小さくなっているが、残留変位の傾向はあまり変化がない。

図-9は摩擦係数 $\mu=0.2$ 、減衰定数 $h=2\%$ において、弾性ブロックの固有周期を変化させたときの函館波(最大118Gal)の残留変位応答の変化を示したものである。図-7と同様に固有周期が変化すると残留変位の大きさおよび方向が変化するが、函館波の場合、固有周期2.2秒程度のブロックに対して一番大きな残留変位を与えている。

4. 結論

以上のことから、残留変位は、ブロックの固有周期、減衰定数、および摩擦係数などのパラメータや加速度レベルによって変位の方向も大きさも大きく異なる。残留変位の方向はある地震波によってどちらか一方に動くというより、むしろたまたまある方向に残留変位が残ったと考えられる。逆に考えると例えばコンテナクレーンについて、海方向への摩擦を逆方向よりも大きくすれば(地面に勾配をつけるなど)クレーンは安全な陸方向に残留変位を促すことは可能であると考えられる。

参考文献：

- 1) 埋立地の液状化対策ハンドブック, 沿岸開発技術研究センター, 1997.
- 2) N.M. Newmark, effect of earthquake on dam and embankments, fifth rankin lecture, 1965.

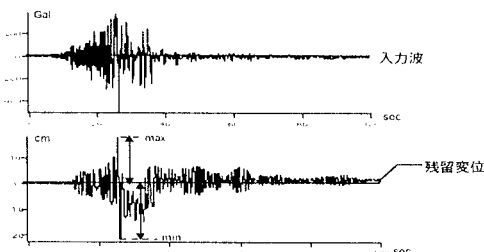


図-3 鋼路波(入力加速度レベル=500Gal $\mu=0.2$ $h=2\%$ $T=1$)の入力地震波形とブロックの時刻歴変位

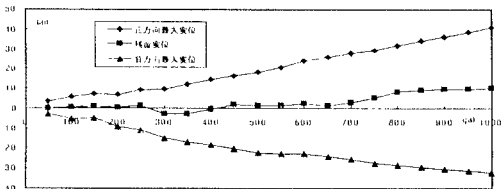


図-4 鋼路波($\mu=0.2$ $h=2\%$ $T=1$)の残留変位

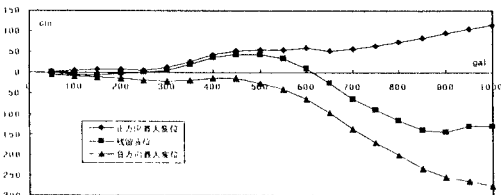


図-5 函館波($\mu=0.2$ $h=2\%$ $T=1$)の残留変位

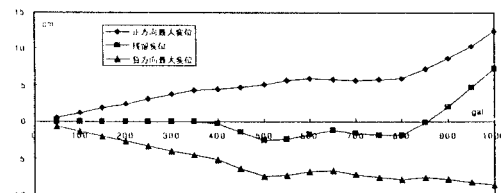


図-6 室蘭波($\mu=0.2$ $h=2\%$ $T=1$)の残留変位

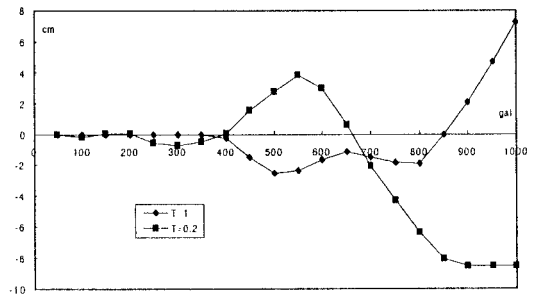


図-7 固有周期の影響(室蘭波 $\mu=0.2$ $h=2\%$)

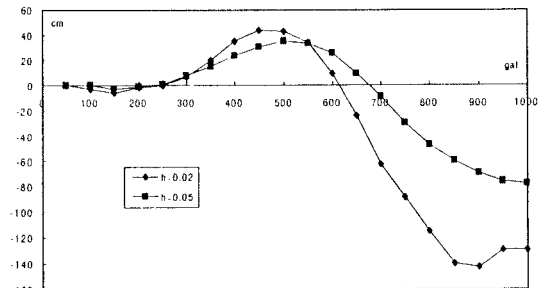


図-8 減衰定数の影響(函館波 $\mu=0.2$ $T=1$)

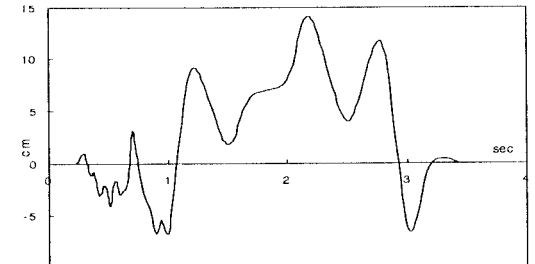


図-9 函館波($\mu=0.2$ $h=2\%$)の残留変位応答