

基礎免震材料としての プラスチックの滑り摩擦特性の検討

山野辺慎一¹・河野哲也²・大保直人³

¹鹿島建設技術研究所上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail: yamanobe @kajima.com

²鹿島建設技術研究所研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail: tetsuya-kono @kajima.com

³鹿島建設技術研究所上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail: ohbo@kajima.com

基礎免震構造は、橋脚基礎底面に滑り面を設けることで、レベル2地震動のような強い地震力が橋梁に作用した場合に、橋梁の最大応答を低減させる構造である。基礎免震の滑り面には、レベル2地震時の耐震性能の向上および常時の安定性を確保するために、摩擦係数0.3～0.4程度の滑り材料が適していると考えられる。本検討では、基礎免震構造の滑り面を構成する材料について動的載荷実験を行うことでその適用性について検討を行った。

Key Words : Seismic Isolation of Foundation, Sliding Material, Frictional property

1. はじめに

橋梁などの構造物がレベル2地震動のような強い地震力を受けたとき、基礎の浮き上がりや地盤～基礎間に滑り現象が生じることで構造物の応答が低減し、予想よりも被害が軽減されることが知られている¹⁾。そこで、地盤～基礎間の滑り現象を制御して応答の低減を図る滑り型基礎免震構造が考えられる。

土木および建築で用いられる免震用の滑り材料は、PTFEとステンレスの組合せが一般的である²⁾。構造物の応答を低減させるには摩擦係数をできるだけ小さくすることが有効であり、この組合せの動摩擦係数は0.1程度となっている。これに対し、今回対象としている基礎免震構造は、レベル2地震動のような強い地震力を受けたときのみに滑り出して構造物の応答を低減し、風荷重作用時やレベル1地震時には滑り出さない構造である。解析検討から基礎底面に配置する滑り材の摩擦係数0.3～0.4程度とすることにより、上記のような免震性能および常時の安定性能が得られると判断した。また、安定した滑り特性を有することが重要であることから、PTFEのような自己潤滑性を有する必要がある。

事前調査の結果、上記滑り性能を満足する一般的な材料として、プラスチック材料のポリアセタール樹脂（以後、POM）と6ナイロン（以後、6N）が

候補として上がった。

本報では、滑り型基礎免震構造の滑り面を構成する滑り材料として、ここでは、POM同士、6NとPOMの組合せの摩擦特性について動的載荷実験を実施し、検討した結果について示す。

2. 試験方法および試験条件

(1) 試験方法

実験は、図-1に示すように上側滑り材を水平方向に固定し、鉛直方向に一定鉛直力が作用している状態で、下側滑り材を水平方向にスライドさせることで上側滑り材と下側滑り材の間を滑らせた。上側滑り材の上の分力計を用いて、滑り面の面圧および滑り面の水平反力を計測した。試験体形状および滑り材の組合せを表-1に示す。

(2) 試験条件

表-2に試験条件を示す。試験面圧は、一般的な高架橋や斜張橋などの基礎下面に常時の状態で作用する地盤反力度を包括するように100, 250, 400, 600, 800kN/m²とした。ただし、地震時は基礎のロッキングにより浮き上がりや1000kN/m²以上の地盤反力度が生じる場合もある。

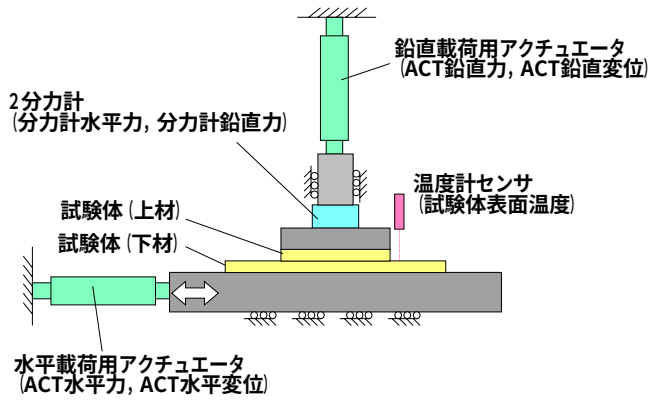


図-1 摩擦試験加振方法および計測方法

表-1 試験体形状と滑り材の組合せ

試験体形状	上材 400mm×200mm×2mm 下材 1000mm×500mm×2mm
滑り材の組合せ	(1) 上材: POM×下材: POM (2) 上材: 6N×下材: POM

表-2 試験条件

面圧	100, 250, 400, 600, 800 kN/m ² ※
加振振幅	±140mm
最大滑り速度	0.05, 0.50, 1.00 m/sec (サイン波加振)
水の有無	有り, 無し

※600, 800kN/m²はPOM×POMの速度0.05m/secのみを実施

地震時の基礎免震滑り面の滑り速度は、別途実施した解析検討から最大約1.0 m/secとなったことから³⁾、試験最大滑り速度を0.05, 0.50, 1.00m/secとしたサイン波を3波加力した。ただし、最大滑り速度1.00m/secでは過大な衝撃荷重を生じさせないために最初と最後の半波の振幅を4分の1とした。

橋脚下面の地下水の有無による影響を確認するために水有りの状態と水無しの状態で加力を行った。水有りの試験は、滑り面が水中にある状態にして加力を行った。

試験状態における摩擦係数のバラツキを確認するために各試験条件において1～4ケースだけ繰り返して試験を実施した。

3. 実験結果

試験結果の例として、POM-POM、面圧100kN/m²、水なしの水平変位～水平力の履歴曲線を滑り速度0.05, 0.50, 1.00m/sの試験ケースについて図-2に示す。滑り速度0.05m/sの履歴曲線から静摩擦係数と動摩擦係数がほとんど同じであり、滑らかに滑り出していることがわかる。これは、POMが自己潤滑性を有する材料であるためである。また、6N-POMの組合せも図-3に示すように静摩擦係数と動摩擦係数がほとんど差のない履歴曲線となった。滑り速度0.50, 1.00m/sでは変位が大きくなるほど水平力が大きくなる履歴となっている。これは、速度が小さいほど摩

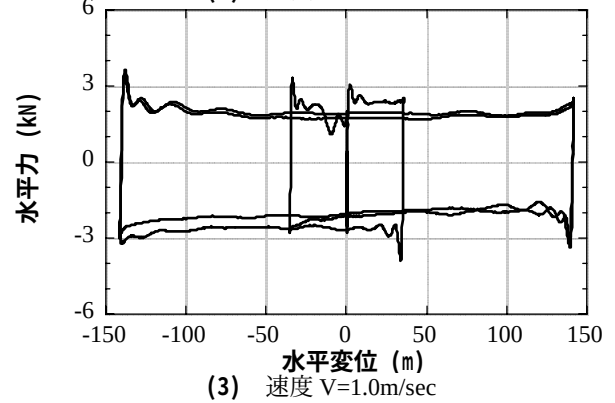
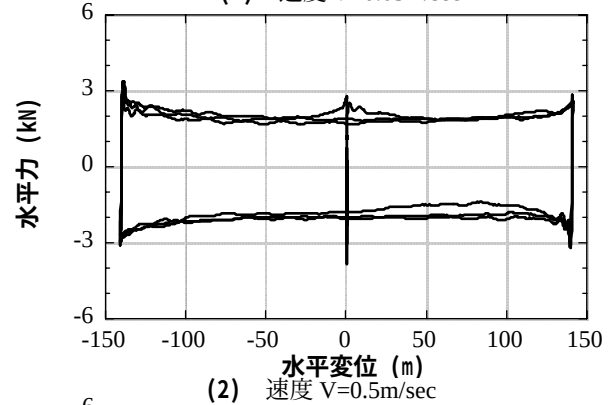
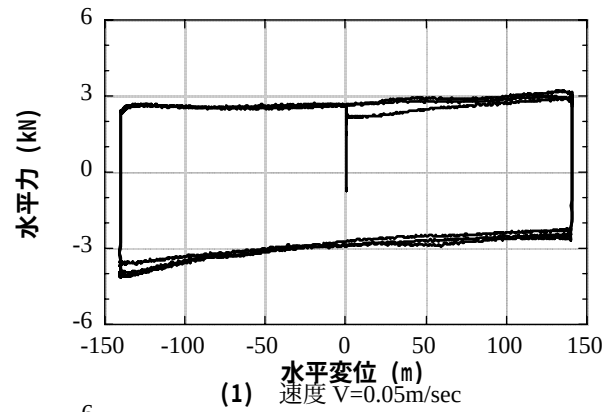


図-2 水平力～水平変位の履歴曲線
(POM×POM, 面圧 100kN/m², 水無し)

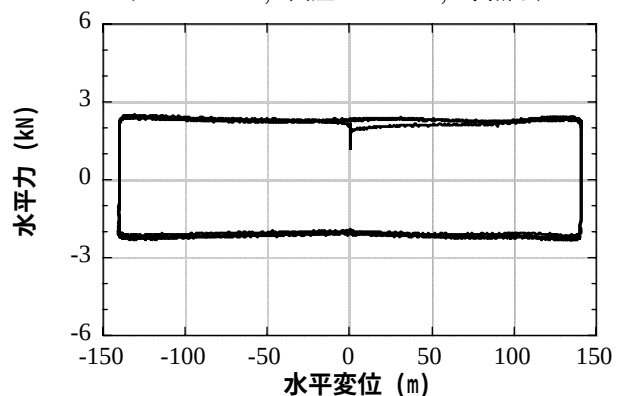
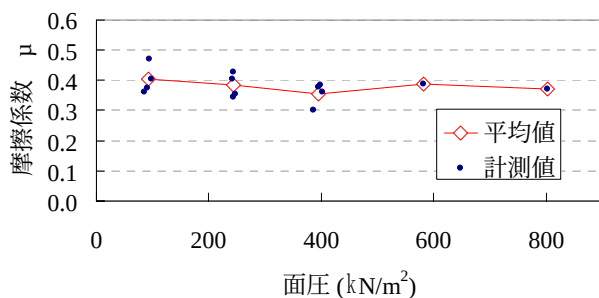
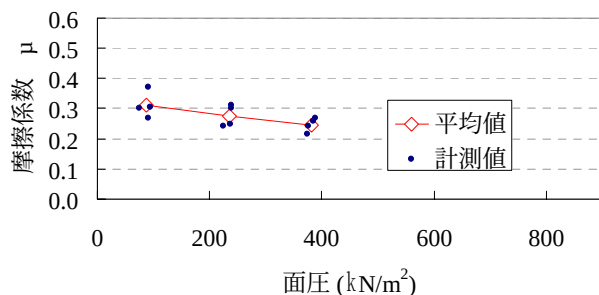


図-3 水平力～水平変位の履歴曲線

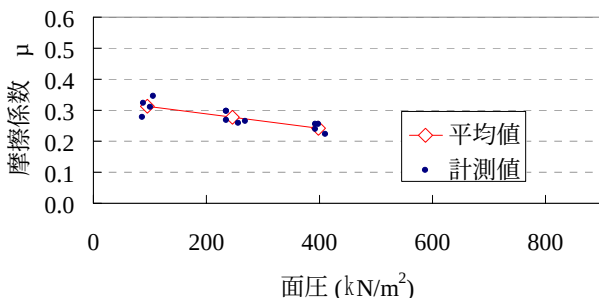
(6N×POM, 面圧 100kN/m², 速度 V=0.05m/sec, 水無し)
擦係数が大きいと考えられる。また、滑り速度0.50, 1.00m/sの履歴曲線が加力開始時や変位方向切り替え時に水平力が立ち上がっているが、分力計に衝撃荷重が加わることで自由振動してしまっているためと考えられる。



(1) 滑り速度 0.05m/sec



(2) 滑り速度 0.50m/sec



(3) 滑り速度 1.00m/sec

図-4 面圧依存特性 (POM×POM, 水無し)

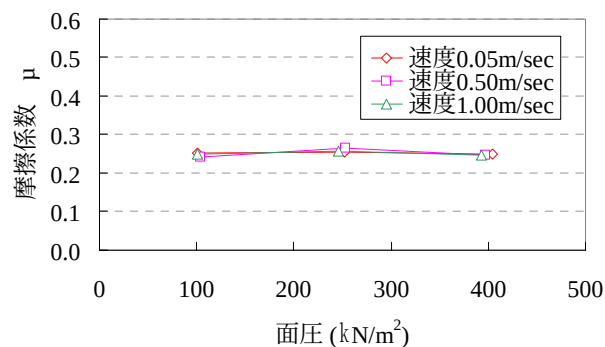


図-5 面圧依存特性 (6N×POM, 水無し)

滑り面の摩擦係数は、水平変位がゼロ点を通過するときの水平荷重を鉛直荷重で除した値とした。

(1) 面圧依存性

図-4にPOM-POMの面圧と摩擦係数の関係を示す。図中には計測値と同面圧の計測値の平均値を示す。今回試験した条件下においてPOM-POMの摩擦係数は平均値で0.24～0.40となった。各計測値は平均値と比べ、最大で0.07程度の差があり、ある程度のバラツキがある結果となった。滑り速度0.05m/secの

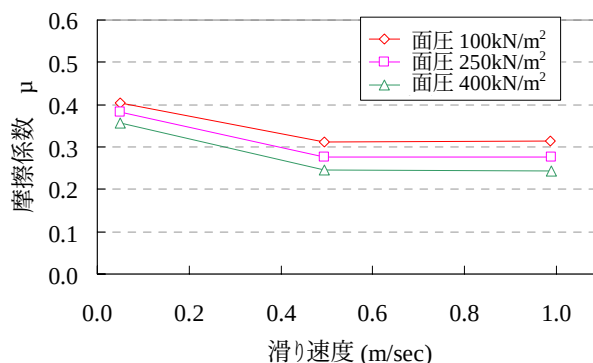


図-6 速度依存特性 (POM×POM, 水無し)

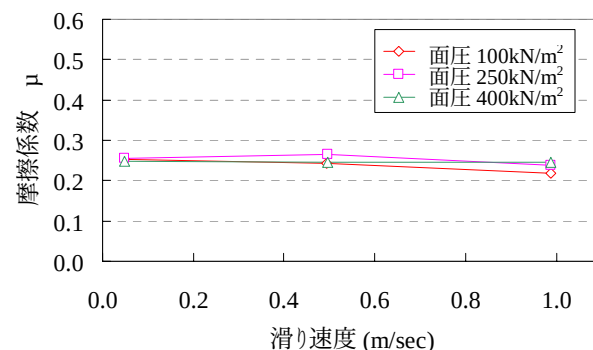


図-7 速度依存特性 (6N×POM, 水無し)

600, 800kN/m²での摩擦係数が、400kN/m²に比べ多少大きい結果となっているが、全体的には面圧が大きくなるほど摩擦係数が小さくなる傾向がある。

図-5に6N×POMの面圧と摩擦係数の関係を示す。滑り速度0.05, 0.50および1.00m/sにおいて面圧依存性は小さく、摩擦係数0.24～0.26となっている。

(2) 滑り速度依存性

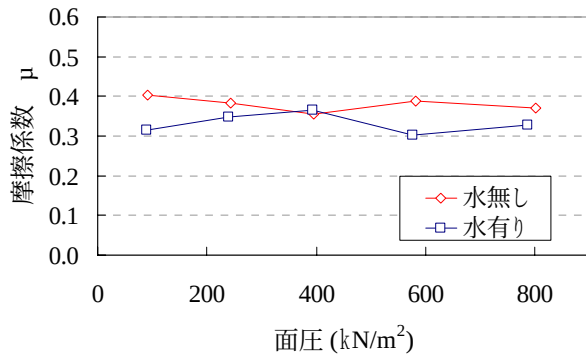
図-6にPOM-POMの滑り速度と摩擦係数の関係を示す。一般に土木・建築の滑り支承で用いられるPTFEとステンレスの組合せでは、滑り速度が大きくなるほど摩擦係数が大きくなり、ある速度から値が安定してくる⁴⁾。これに対し、POM-POMでは滑り速度が大きくなると各面圧下において摩擦係数が小さくなる傾向があるが、滑り速度0.5m/secと1.0m/secでの摩擦係数は同程度となり、0.24～0.30で安定している。

図-7に6N-POMの滑り速度と摩擦係数の関係を示す。6N-POMの組合せは、POM-POMに比べて速度依存性が小さい。

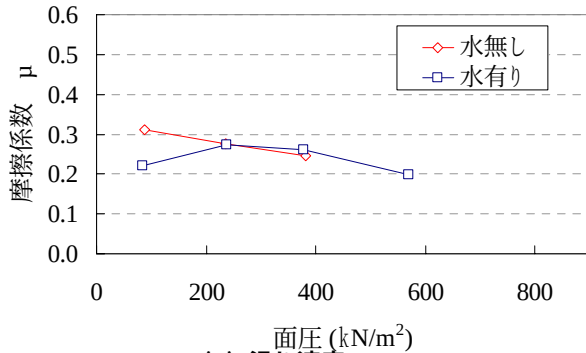
(3) 水の有無による影響

POM×POMの水無しおよび水有りのケースについて面圧と摩擦係数の関係を図-8に示す。水有りの場合の摩擦係数は水無しに比べると同じか0.1程度小さくなる傾向となった。これは上材と下材の間に入った水粒子の潤滑効果の影響と考えられる。

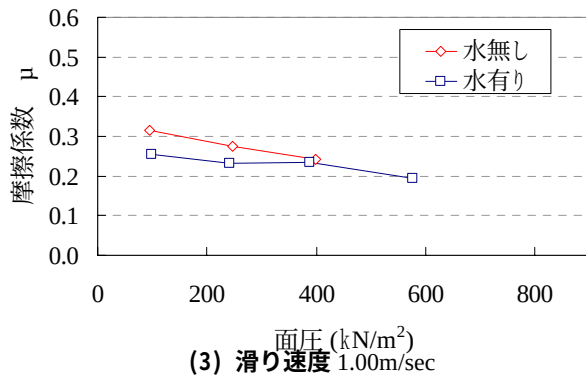
また、図-9に示すように6N×POMの組合せでも同様に水有りの場合の摩擦係数が水無しに比べ、同等または0.1程度小さくなり、面圧100 kN/m²では0.12となった。



(1) 滑り速度 0.05m/sec



(2) 滑り速度 0.50m/sec



(3) 滑り速度 1.00m/sec

図-8 水の有無による影響 (POM×POM)

4. まとめ

本検討では、滑り型基礎免震構造の滑り材料として一般的なプラスチック材料のPOM-POMおよび6N-POMの摩擦特性試験を実施した。検討の結果、以下の知見が得られた。

- (1) POM-POMの滑り材料の組合せでは滑り速度0.05m/sの水平力～水平変位の履歴曲線から、静摩擦係数と動摩擦係数がほぼ同じですべらかに滑り出すことを確認した。

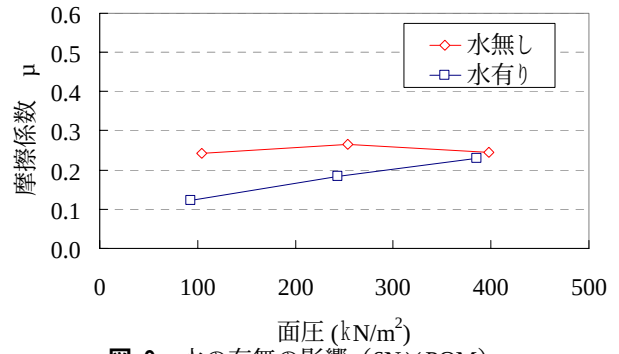


図-9 水の有無の影響 (6N×POM)

- (2) POM-POMの摩擦係数は、面圧100～400kN/m²で0.24～0.40となり面圧が大きくなるほど、または速度が多くなるほど、摩擦係数が小さくなる特性であることを確認した。
- (3) 6N-POMの摩擦係数は、面圧100～400kN/m²で0.24～0.26となり面圧や速度による摩擦係数の変化が小さいことを確認した。
- (4) 摩擦面が水に浸された状態では、POM-POMおよび6N-POMともに水無しの状態と比べ、摩擦係数は同等もしくは0.1程度小さくなることを確認した。

今回の滑り材料として検討対象としたPOM-POM、6N-POMは、目標とする摩擦係数0.3～0.4よりも若干小さな値となった。本材料を基礎免震に適用する場合は摩擦係数の大きな材料と組み合わせる、もしくは本摩擦係数においても常時の安定性を確保し、かつ、地震後の残留変位が過大にならない構造を考える必要がある。また、材料の地中における長期耐久性についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 林康裕：直接基礎構造物の基礎浮上りによる地震被害低減効果，日本建築学会構造系論文集，第485号，pp.53-62，1996.
- 2) M.J.N.Priestley, F.Seible, G.M.Calvi 著，川島一彦監訳：橋梁の耐震設計と耐震補強，技報堂出版
- 3) 河野哲也，山野辺慎一，村山八洲雄：橋脚基礎底面に滑り型免震機構を有する橋梁の地震応答特性の検討，地震工学研究発表会，2003.12
- 4) 岡本晋，藤井俊二，尾崎大輔，M.C.Constantinou, P.C.Tsopelas：すべり方式免震システムを有する橋梁の動的特性に関する実験的研究，土木学会論文集，No507/I-30，pp.167-177，1995.1

(2003.10.31受付)