

振動台実験による墓石の耐震補強対策効果の検証

飛島建設(株) 正会員 ○三輪 滋 京都大学 正会員 清野 純史
 京都大学 学生員 樫山 貴昭 九州大学 正会員 古川 愛子
 日本石材産業協会 井口 健二

1. はじめに

本研究では、様々な補強を施した墓石試験体の耐震性を評価するために、実物大の墓石試験体を作成し、振動台上に設置し、地震動で加振することでその耐震性を検討した。加振に用いた地震動は、兵庫県南部地震のような直下型地震の地震動の特性をもつ比較的継続時間の短い地震動であり、振幅を震度6弱、震度6強、震度7に調整して加振を行った。挙動の分析を通して、各種墓石模型の地震時挙動を把握し、各種耐震対策の効果を検証した¹⁾。

2. 墓石モデル

試験体は、日本石材産業協会の仕様などによる和型・洋型墓石であり、耐震性向上のため粘着や棒材での連結などが施されている。また、それらの効果を比較するために、何も加工を施していないものも実験した。墓石の概観を図1に示す。和型墓石は上から棹石(W8×D8×H21mm,108kg)、上台(W14×D14×H9mm,142kg)、中台(W20×D20×H10mm,322kg)、芝台(W28×D28×H5mm,315kg)であり、洋型墓石は上から棹石(W20×D10,D8)×H16mm,231kg)、上台(W25×D15×H7mm,211kg)、芝台(W28×D28×H5mm,315kg)である。各試験体がどのような補強がなされているかを表1に示す。

表1 墓石モデルの分類

W0101	和型の墓石を補強無しで積み重ねたまま
W0102	和型の墓石の間を耐震ボンドで接着
W0103	和型の墓石の棹石と上台の間にステンレス棒を1本挿入
Y0101	洋型の墓石を補強無しで積み重ねたまま
Y0102	洋型の墓石の間を耐震ボンドで接着
Y0103	洋型の墓石の棹石と上台の間にステンレス棒を2本挿入
W0201	和型の墓石の間に強固な金具を設置
W0301	和型の墓石の間に積層ゴムとゴムを設置
W0401	和型の墓石の間に接着剤ではない粘着材（ソフトファスナー）を設置
W0501	和型の墓石の間に前面粘着シートを設置
W0601	和型の墓石を貫通した器具を取り付け、更にターンバックルにより締める
W0701	和型の墓石の間に発泡樹脂緩衝材とステンレスワイヤーを設置

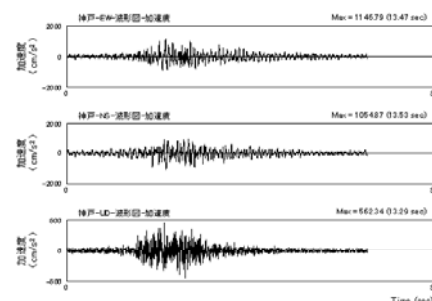


(a) 和型墓石

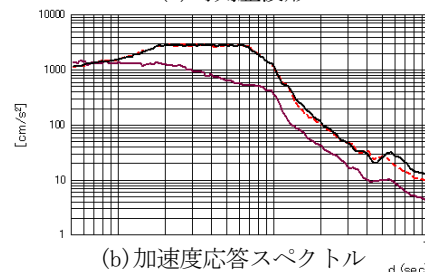


(b) 洋型墓石

図1 墓石モデル



(a) 時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図2 模擬地震動

3. 入力地震動

個別要素法を用いた解析による検討結果¹⁾から、直下型地震の地震動のほうが墓石に影響が大きいことがわかっているため、本研究の実験では直下型地震の地震動を用いることとした。

兵庫県南部地震での神戸海洋気象台での観測記録は、スペクトル特性に凹凸がある。墓石の固有振動数に違いがある場合には、できるだけフラットな振動特性を有する地震動のほうが評価しやすい。そこで、設計などに用いられる加速度応答スペクトル²⁾と兵庫県南部地震の神戸海洋気象台の記録の位相特性を用いて模擬地震動を作成した。振動台実験では3次元の地震動を用いる必要があるが、水平・上下のスペクトルをそれぞれで規定している設計法はあまりない。

NTTの通信装置等の耐震試験方法³⁾に示されたNTTの通信機器耐震性検討用のスペクトルは水平上下成分を分けて規定している。このスペクトルをターゲットスペクトルとし兵庫県南部地震の記録の位相を用いて模擬地震動を作成した。作成した加速度時刻歴波形とその加速度応答スペクトルをそれぞれ図2に示す。作成した地震動を基に、加速度レベルを調整して、震度7、震度6強、震度6弱の地震動とした。

キーワード 墓石、地震時挙動、3次元振動台実験

連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設(株) 技術研究所 TEL:04-7198-1365

4. 実験結果

表2に各試験体の実験結果一覧を示す。

振動台実験の結果を補強工法毎にまとめると以下ようになる。

（無補強時：W0101, Y0101）

無補強の和型墓石は、震度6強以上で、洋型墓石は震度7以上で倒壊に至った。補強を施さない場合、洋型墓石の方が耐震性の高いこと、和型墓石はロッキング運動によって倒壊に至りやすいこと、洋型墓石は滑り運動によって倒壊に至る可能性が高いことがわかった。

（ステンレス棒による補強：W0103, Y0103）

ステンレス棒で連結する補強方法を採用した場合、無補強時に震度6強で転倒した和型墓石は震度6強で転倒せず、無補強時に震度7で転倒した洋型墓石は震度7でも転倒には至らず、補強の効果が確認できた。ただし、和型墓石の場合、震度7の地震動に対しては、棹石と上台が一体となって中台上で滑り、転倒に至った。棹石と上台をステンレス棒で連結することによって、棹石と上台は一体となって運動することとなり、重心の位置が下がるため、ロッキングに対する抵抗力が増す。このよう

に、棹石のロッキング運動を抑えることが出来るという点で効果があると思われる。しかし、連結していない石部材間の滑り運動に対する抵抗力は有していないので、滑りを抑えることのできる他の手法と併せて用いる必要がある。また、上下動によってステンレス棒が抜ける可能性もあるので十分な長さのステンレス棒を用いることが必要である。

（接着・粘着による補強：W0102, Y0102, W0401, W0501）

面と面を接着・粘着するタイプは、墓石構造自体を剛に固定するため、振動に強く、また破損も起こしにくい。本実験では、和型・洋型墓石のいずれのケースも、震度7を経ても倒壊に至らなかった。ロッキング運動・滑り運動の両方に効果的な補強方法であると言える。しかしこの種類の補強手法は、接着・粘着剤の経年変化など、補強部材の損傷・劣化が問題となる。地震の繰り返しに耐えられるかどうかという点も課題となる。

本補強方法は、接着・粘着効果が発揮されて始めて意味のあるものであるもので、接着・粘着効果がどのように劣化していくのかを把握し、適切なタイミングで補強する必要があると考えられる。また地震後には接着・粘着効果がどの程度劣化しており、余震や今後の地震に対して十分耐えうるレベルであるのかどうかを把握する必要があると考えられる。

（金具による固定：W0201）

地震時の3つの墓石挙動（ロッキング、滑り、回転）のうち、ロッキングをある程度許して、回転とすべりを抑えるという補強である。振動より残留変位を抑えることを重視したものであり、震度7の地震動を経ても転倒に至らず補強効果が表れていた。しかし、ロッキング運動を許容するため、石同士の衝突による上台・補強部材の破損が課題となる。

（緩衝材による衝撃吸収：W0301, W0302）

面と面との間に積層ゴムを敷いて衝撃を吸収することを目的とした補強方法であるが、ゴムの上で墓石がロッキング運動を起こしやすくなり、無補強時よりも倒れやすくなるケースがあった。2種類の厚さを持つ緩衝材を用いて実験を実施したが、W0301では震度6弱で、W0302では震度6強で倒壊に至った。墓石全体の振動特性を把握した上で、その墓石が振動しやすい地震動成分を吸収できるよう適切な緩衝材の厚さを選択する必要があると考えられる。

（ターンバックル：W0601）

棹石から下台までが堅固に固定され一体となって運動し、震度7でも転倒には至らなかった。年数が経っても繰り返しの地震動を受けても固定効果が保たれるのならば、効果のある補強方法であると考えられる。

（エアロック：W0701, W0702）

震度6弱、6強の地震動に対しては転倒せず耐えたが、震度7の地震動に対してはロッキングにより転倒に至った。滑り運動を抑える効果はあるものの、ロッキング運動を低減させる効果が少ないことがわかった。これは、墓石の重量に対して心棒の剛性が小さかったためである。また、上台が心棒から抜けてしまったことから、もう少し心棒を長めに打ち込むと効果があつたと考えられる。墓石のサイズに応じた心棒の固さ、強度、長さの検討が必要と考えられる。

5. まとめ

墓石の実物大模型を用いた振動実験により、墓石の地震時挙動の把握、各種耐震対策の効果を確認することができた。

参考文献 1) 日本石材産業協会、飛島建設㈱：地震に強いお墓に関する研究、2005年3月、同(実験編)、2006年2月 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編、2002年 3) 日本電信電話公社：通信装置等の耐震試験方法、1998年12月

表2 試験体の転倒状況

試験体	震度6弱	震度6強	震度7
和型 0101	△	×	×
和型 0102	○	○	○
和型 0103	△	△	×
洋型 0101	△	△	×
洋型 0102	○	○	○
洋型 0103	△	△	△
和型 0201	○	○	○
和型 0301	×		
和型 0302	△	×	
和型 0401	○	○	○
和型 0501	○	○	○
和型 0601	○	○	○
和型 0701	△	△	×

○：変化無 △：変位・ずれが生じる ×：倒壊