

接着剤を用いた墓石の耐震補強における接着強度の経年劣化の影響

飛島建設 正会員 ○三輪 滋 京都大学 正会員 古川 愛子
京都大学 正会員 清野 純史

1. はじめに

接着剤で石材間を接着する耐震補強工法は広く採用されているが、接着剤には経年劣化の可能性があるため、経年劣化による強度低下に関する検討を行うことは重要である。本研究では、墓石に多用されている変性シリコン接着剤で接着した2枚の石材片の耐候性促進試験により材齢0~30年に相当する試験体を作成し、一軸引張試験および繰り返しせん断試験により経年劣化によって強度がどのように変化するか調べた。さらに、個別要素解析によって、経年毎の墓石の地震時挙動を再現した。

2. 試験体概要

試験体は、2枚の石材片の間に接着剤を挟んだものである。石材片は花崗岩の御影石、接着剤は墓石によく用いられている変性シリコン接着剤である。接着剤の奥行きは約10mm、幅は約50mm、厚さは約3mmと約5mmの2通りとなるように作成した。各厚さについて3体ずつ作成した。この試験体に対し、サンシャインウェザーメーターを使い、キセノンランプで紫外線を発生させ、定期的な人工降雨を設定し、耐候劣化を促進させる実験を実施し、外装用合板の接着剤の評価の方法¹⁾にない材齢0, 1, 5, 10, 20, 30年の劣化状態の試験体を作成した。その後、一軸引張試験と繰り返しせん断試験を実施した。

3. 一軸引張試験

一軸引張試験は、材齢0, 5, 10, 30年の試験体に対して実施した。試験体を図-1のように試験機で挟み、0.5mm/minの変位制御で引張荷重を載荷した。材齢30年で接着剤厚さ約5mmの試験体の劣化状態の一例を写真-1左に示す。ひび割れが生じている。破断時の様子を写真-1右に示す。引張強度と材齢の関係、引張強度と破断時ひずみから求めた等価ヤング率と材齢の関係を図-2に示す。硬化により材齢0年より5年の方が引張強度が増加するが、材齢5年以降は一樣に強度が低下している。接着剤の厚さの影響は小さい。

4. 繰り返しせん断試験

一軸引張試験の試験体と同様の寸法で、材齢0年, 1年, 20年の試験体に対し、繰り返しせん断試験を実施した。一定振幅のせん断応力を0.1Hzの振動数で繰り返し載荷し、破断時の繰り返し回数をカウントした。図-3に、繰り返しせん断応力と破断時の繰り返し回数の関係を示す。接着剤の厚さにより同じ繰り返し回数で破断に至るせん断応力が異なるが、材齢0年~20年の範囲では材齢の影響は小さいことがわかる。

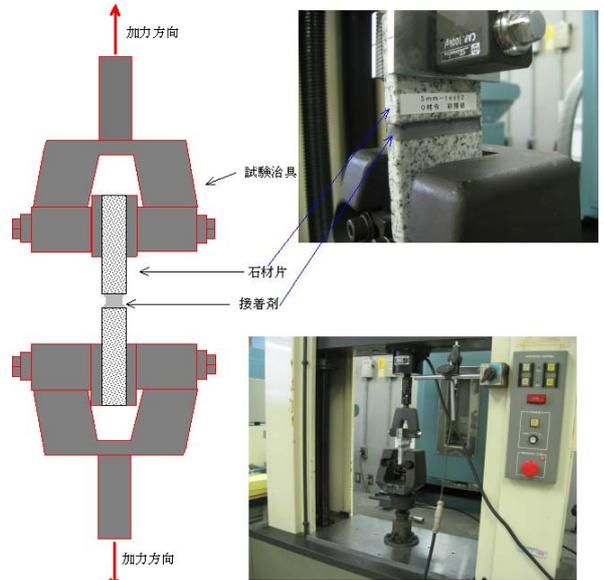


図-1 一軸引張試験概要



写真-1 材齢30年の引張試験前・破断時の試験体

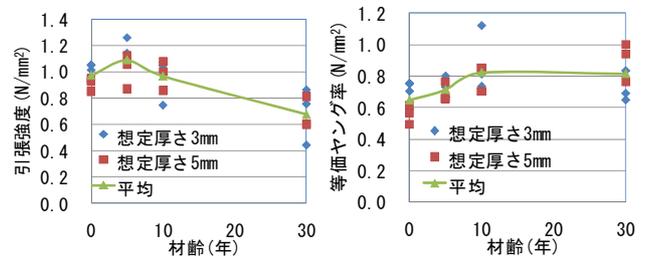


図-2 材齢と引張強度特性の関係

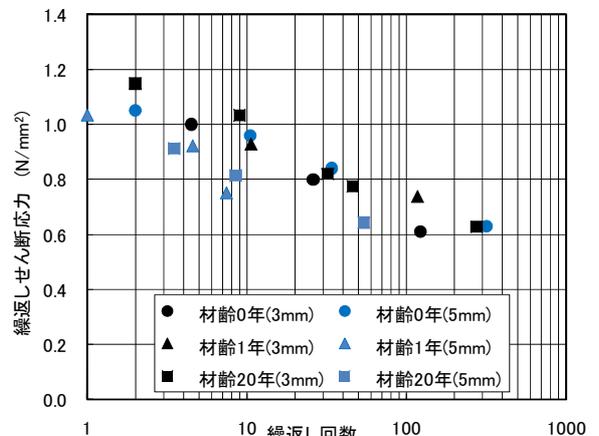


図-3 材齢毎の繰り返しせん断試験結果

キーワード 墓石, 接着剤, 経年劣化, 一軸引張試験, 繰り返しせん断試験, 個別要素解析

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

5. 個別要素解析

(1) 解析モデル²⁾

解析モデルを図-4 に示す。東京周辺で多用されている和型墓石とした。各石の寸法は図-4 に示すとおりであり、質量は棹石が 108 kg, 上台が 142 kg, 中台が 322 kg, 芝台が 315 kg, 水鉢が 46 kg である。各石を 1 つの直方体要素でモデル化した。接触パラメータを算定するのに必要な単位体積質量, ヤング率, ポアソン比は, 表-1 に示す花崗岩の一般的な値を用いた。接着部以外では, 墓石間に引張抵抗は働かず, せん断抵抗は摩擦力のみと仮定した。

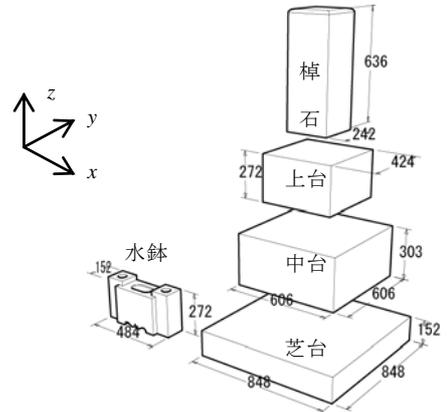


図-4 墓石の解析モデルの概要(単位 mm)

表-1 墓石のパラメータ

変数	単位体積質量 (kg/m ³)	弾性係数 (N/m ²)	ポアソン比	動摩擦係数
値	2.7 × 10 ³	4.3 × 10 ¹⁰	0.25	0.438

表-2 墓石の石材間の接着のケース

ケース名	接着剤	接着材の塗布面
無接着	なし	-
1点接着(径100mm)	あり	径100 mmを中央に1箇所
4点接着(径50mm)		径50mmを4隅に1箇所ずつ
4点接着(径100mm)		径100 mmを4隅に1箇所ずつ
全面接着		全面に接着

表-3 墓石の材齢ケース毎の物性値

材齢 (年)	厚さ (mm)	等価ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)	粘着力 (N/mm ²)
0	5.00	0.65	0.40	0.97	0.97
5	5.00	0.71	0.40	1.09	1.09
10	5.00	0.82	0.40	0.97	0.97
30	5.00	0.81	0.40	0.68	0.68
50	5.00	0.81	0.40	0.39	0.39

(2) 解析ケース
接着ケースとして表-2 に示す 5 ケースを想定した。接着剤は, 棹石-上台間, 上台-中台間, 中台-芝台間に塗布し, 水鉢は接着しないと想定した。接着剤の厚さは 3mm と仮定した。接着剤がある領域にはばねを設定し, 引張強度と粘着力を与えた。
接着剤の材齢として 0, 5, 10, 30, 50 年の 5 通りを想定した。材齢毎に, 表-3 に示す接着剤の引張強度と粘着力を設定した。接着剤のせん断抵抗は粘着力のみで表現するとし, 動摩擦係数は 0 に設定した。材齢 50 年の引張強度については, 図-2 より材齢 5 年以降は一樣に強度が低下しており, 材齢 10 年から 30 年にかけて強度が 0.29N/mm²減少していたので, 材齢 30 年から 50 年にかけても同じ値が減少すると仮定して 0.39 N/mm²とした。材齢 50 年の等価ヤング率は, 図-2 より, 材齢 5 年以降はほぼ一定であることから, 材齢 30 年と同じ 0.81 N/mm²を採用した。粘着力は, 繰り返しせん断による強度低下の影響を考慮せず, 引張強度と同じ様に経年劣化すると仮定して, 表-3 の値とした。

地震動は道路橋示方書耐震設計編³⁾のタイプ2地震動の中から, I 種地盤用の Type211 を用いた。加速度波形を図-5 に示す。入力地震動は 3 方向同時に入力した。

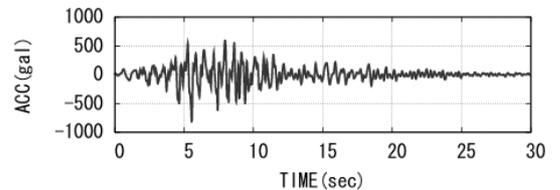


図-5 入力地震動 (Type211)

(3) 解析結果

表-4 に全 21 ケースの棹石の転倒状況を示す。無接着では, 棹石と上台の 2 つの石が転倒した。1点接着(径 100mm)と 4点接着(径 50mm)では, 全材齢ケースにおいて棹石が転倒し, 接着剤の塗布面積が不十分であることがわかった。4点接着(径 100mm)では, 材齢 0 年~30 年まではどの石も転倒しなかったが, 材齢 50 年では棹石が転倒した。全面接着では, 材齢 0 年~50 年までどの石も転倒しなかった。

表-4 棹石の転倒状況

		材齢 (年)				
		0	5	10	30	50
接着状況	無接着	××				
	1点接着(径 100mm)	×	×	×	×	×
	4点接着(径 50mm)	×	×	×	×	×
	4点接着(径 100mm)	○	○	○	○	×
	全面接着	○	○	○	○	○

○ : 無転倒 × : 棹石が転倒
×× : 棹石と上台が転倒

6. まとめ

接着剤で接着した 2 枚の石材片の一軸引張試験および繰り返しせん断試験より, 経年劣化に伴う強度低下の程度を把握した。また, 個別要素解析により, 接着剤の塗布面積と材齢による地震時の墓石の転倒状況の違いを把握した。

謝辞 : 本研究は, 平成 21 年度科学研究費補助金(基盤研究(c))の援助で実施しました。また, 研究計画立案と試験体製作では, 日本石材産業協会のご協力を得, 耐候性促進試験では, 恒和化学工業の沖野氏の御協力を得ました。記して感謝の意を表します。

- 参考文献 1) 阿部勲 中村史門 佐藤光秋 : 市販外装用合板の性能試験(2)-ウェザーメーター処理による接着強度および機械的強度の変化-, 北海道林産試験場月報 225 号, 1970.10.
2) 日本石材産業協会, 飛鳥建設(株) : 地震に強いお墓に関する研究(実験編), 2006.
3) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, 2002.