

ピナツボ火山噴出物を用いたコンクリートの破壊力学特性

東京工業大学大学院 学生員

松永 直樹

東京工業大学大学院 学生員

川口 哲生

東京工業大学大学院 フェロー会員

二羽 淳一郎

1. はじめに

1991年にピナツボ火山より噴出した火山噴出物がフィリピンには未だ大量に存在している。フィリピン政府や民間の研究所はこの火山噴出物の有効利用について検討を行い、その利用法の一つとして軽量コンクリートの粗骨材としての利用を検討している。しかし、研究は始まったばかりであり、力学特性は十分に把握されていない。そこで、本研究では、圧縮強度、引張強度、弾性係数などの力学特性値だけでなく、コンクリートの破壊力学における重要な特性値である破壊エネルギーの測定と引張軟化曲線の算出を行った。また、部材としての耐力を知るために鉄筋コンクリート(RC)はりについても検討を行った。

2. 実験概要

配合は粗骨材最大寸法 20mm を基本にし、W/C=0.4, 0.5, 0.6 の 3 通りを製作した。W/C=0.4, 0.5 では粗骨材最大寸法を 13mm にしたものを作成した。さらに W/C=0.5 では基本配合から、細骨材率 s/a を 10% 増加させた供試体 (b と付記) の、計 6 種類を製作した。

図 - 1 に破壊エネルギーを求める際に行った RILEM の推奨する切欠きはりの 3 点曲げ試験の概要を示す。載荷方法は変位制御とし、変位速度 0.1(mm/min) で行った。測定項目は荷重、載荷点変位、両支点変位、リガメント部のひび割れ幅とし、供試体変位は載荷点変位から、両支点変位の平均を引いたものとした。これらの測定結果から得られた荷重 - 変位曲線下の面積 (w_0) を台形近似によって求め、 $G_F = (w_0 + mg \delta_0) / A_{lig}$ (ここで、 m は供試体全質量、 δ_0 は終局時供試体変位) に代入することで破壊エネルギーを求めた。さらに破壊エネルギーと開口変位の関係から、修正 J 積分を用いて引張軟化曲線を算出した¹⁾。

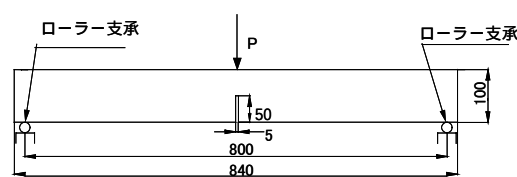


図 - 1 3点曲げ試験供試体概要図
(単位: mm)

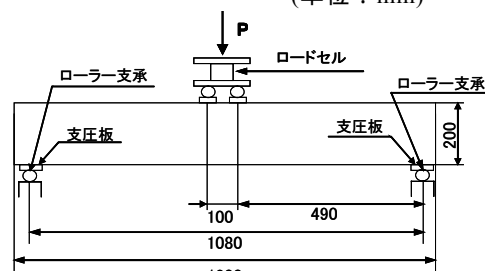


図 - 2 RC はり供試体の載荷図
(単位: mm)

図 - 2 に RC はり供試体の概要を示す。RC はりは、せん断補強を行わないものと、せん断補強筋比 0.46% のせん断補強を行ったものの 2 種類を製作した。測定項目は荷重、載荷点変位、両支点変位、主鉄筋ひずみ、せん断補強筋ひずみとし、供試体変位は載荷点変位から、両支点変位の平均を引いたものとした。

3. 実験結果

表 - 1 に圧縮強度、引張強度、割線弾性係数、破壊エネルギーの実験値を示す。ここから、圧縮強度、引張強度共に水セメント比に依存することが分かる。粗骨材最大寸法が小さい方が圧縮強度は高いが、引張強度は粗骨材最大寸法には影響されない傾向が認められる。細骨材率 s/a を増加させると圧縮強度は増加するが引張強度についてはそれほど増加しないことも観察される。

表 - 1 各供試体の破壊エネルギー及び力学特性値

供試体名	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	割線弾性係数 (GPa)	破壊エネルギー (N/m)
04 - 20	15.5	1.69	11.1	48.8
04 - 13	19.6	1.63	12.2	50.6
05 - 20	12.7	1.29	9.70	38.4
05 - 13	16.3	1.41	12.5	49.1
05 - 20b	15.7	1.37	10.5	37.5
06 - 20	12.8	1.24	11.7	27.2

キーワード：ピナツボ火山噴出物、破壊エネルギー、引張軟化曲線、力学特性値

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL03-5734-2584 FAX03-5734-3577

破壊エネルギーは、一般には粗骨材最大寸法と圧縮強度の関数とされ、普通骨材の場合、粗骨材最大寸法が大きい方が破壊エネルギーは大きくなる。これは、モルタル強度より骨材強度が大きく、モルタル部を伝播するひび割れが粗骨材を迂回し、より多くのエネルギーが必要とされるからである。しかし、図-3に示すように、ピナツボ骨材はモルタルに比べて強度が低く、このような現象は起こらない。また、細骨材率を高くして圧縮強度を増加させた場合も、ひび割れが骨材を貫いているため、破壊エネルギーの値は圧縮強度が同等なものに比べて小さくなっている。

修正J積分法から求めた引張軟化曲線と、六郷らの1/4モデル²⁾を図-4に示す。本来、引張軟化曲線下の面積は破壊エネルギーと一致し、モデル直線下の面積とも一致するはずであるが、これらは一致していない。

そこで、RILEM法の載荷形態から、破壊エネルギーの値を求める際自重を等分布荷重として考え、自重の影響を $mg\delta_0$ から $1/2mg\delta_0$ として、1/4モデルを求めると図-5のようになる。しかし、これでも折れ曲がり点を適切に表現できていない。そこで1/4モデルを修正し、新たな2直線近似によるモデル化を行った。図-5に今回提案した1/3モデルを示す。1/4モデルと比べ、1/3モデルはピナツボ骨材を用いたコンクリートの引張軟化曲線をより精度良く表していることがわかる。

表-2にRCはりの実験結果を示す。せん断補強を行わないRCはりのせん断耐力は土木学会コンクリート標準示方書によれば次式で求まる。³⁾ $V_{u,cal}=0.2f'_c{}^{1/3}d^{-1/4}p_w{}^{1/3}b_wd$
 f'_c : コンクリート圧縮強度(MPa), p_w : 軸方向鉄筋比(%),
 d : 有効高さ(m), b_w : ウェブ幅(m). 土木学会標準示方書では、軽量骨材を用いた場合の、せん断補強を行わないRCはりの終局耐力は普通骨材を用いた $V_{u,cal}$ の70%とすると規定されている。ピナツボ骨材を用いたRCはりではその比率が84%となり、圧縮強度が同等ならば軽量骨材を用いた場合と同等に扱って良いと考えられる。また、0.46%のせん断補強により、せん断耐力は60%程度向上することが確認された。

4. 結論

(1)ピナツボ骨材を用いたコンクリートの引張軟化曲線は自重による影響を従来の1/2とすれば、今回提案した1/3モデルにより精度良く表現できる。(2)ピナツボ骨材を用いたコンクリートの圧縮強度及び引張強度はW/Cに影響され、粗骨材最大寸法が小さい方が圧縮強度は大きい。(3)せん断補強していないピナツボ骨材を用いたRCはりのせん断耐力は普通骨材を用いたRCはりのせん断耐力の84%程度の値となる。

謝辞 本研究を行うにあたりピナツボ骨材の入手に御協力を頂いた(株)クレオの財津寿太氏に感謝の意を表します。参考文献 1)内田裕市, 六郷恵哲, 小柳治: 曲げ試験に基づく引張軟化曲線の測定と計測, 土木学会論文集, No.426, V-14, pp.203-212, 1991.2, 2) Rokugo, K., Iwasa, M., Suzuki, T. and Koyanagi, W.: Testing Method to Determine Tensile Strain Softening Curve and Fracture Energy, Balkema, pp.153-163, 1989, 3) 土木学会: 平成8年度制定コンクリート標準示方書, 設計編

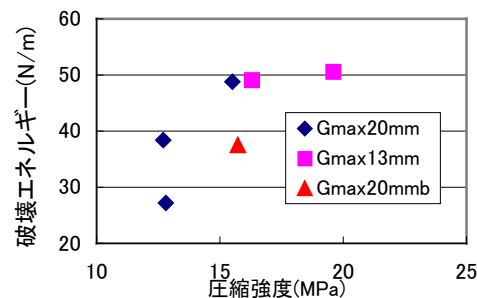


図-3 圧縮強度 - 破壊エネルギー

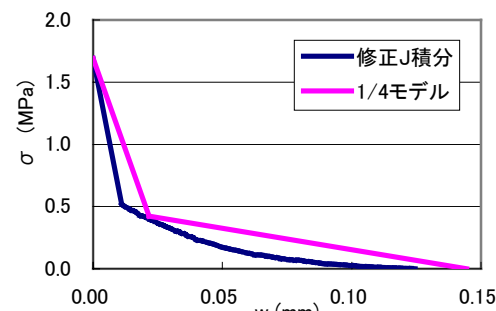


図-4 修正J積分による引張軟化曲線及び1/4モデル

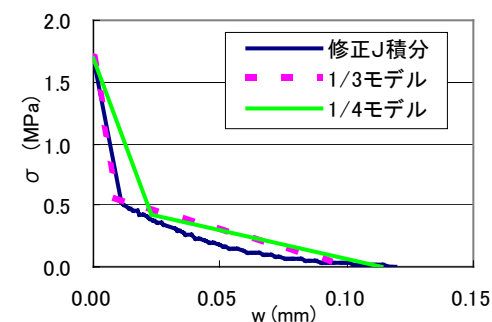


図-5 提案した破壊エネルギーから求めた1/4モデル及び1/3モデル

表-2 RCはりの終局耐力

供試体種類	実験値 V_u (kN)	算定値 V_{cal} (kN)	V_u/V_{cal} (%)
せん断補強あり	31.5	48.4	65.1
せん断補強無し	19.7	23.0	83.6