

点載荷試験によるモルタル供試体の破壊特性

名城大学大学院 学生会員 ○浅川 祐人海

名城大学大学院 浅井 崇

名城大学 正会員 石川 靖晃

名城大学 正会員 板橋 一雄

1.はじめに 点載荷試験は、骨材の破壊強度を推定する上で最も有効な手段の一つであり、骨材の破壊強度を推定する指標が各所¹⁾で提案されている。しかし、いずれの破壊強度指標においても破壊荷重と骨材の形状から破壊強度を算定しており、得られた破壊強度のバラツキが大きいことが報告されている。²⁾一方で、Chen³⁾らは、極限解析により荷重の上界値および、下界値の間に破壊荷重が存在することを報告している。従って、このような考え方は点載荷試験による破壊荷重のバラツキにも対応できると推察されるが、極限解析は理論的に提案されたものであり、特に点載荷試験に対しては実験的な検証が殆どなされていないのが現状である。

本研究は、材料物性や形状が骨材に比べて明確であるモルタル供試体を用いて点載荷試験を行い、破壊荷重と形状の関係及び、破壊荷重のバラツキを実験的に明らかにすることを試みた。そして、極限解析における破壊荷重と上界定理との対応について検討を行った。

2. モルタル供試体の点載荷試験概 本研究で用いたモルタルは、材齢3日であり、水セメント比は0.45、砂セメント比は1.5である。また、高性能AE

減水剤の使用量はセメント量の0.03%である。形状は角柱供試体で立方体に整形されており、一辺の長さは1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 (cm)である。載荷部分が凸(先端 $r=5\text{mm}$)になっている試験機を用いて点載荷試験を行い、破壊荷重を測定した。同時に、同様の配合で $\phi=1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4$ (cm) (各供試体高さ $=2\phi$)の円柱供試体を作成し、割裂試験を行い、各円柱供試体の圧裂引張強度 S_t を測定した。なお、各クラスの試験個数を表・1に示す。表・1に示された寸法の意味は、角柱供試体については一辺の長さであり、円柱供試体については直径の長さである。まず、点載荷試験の破壊荷重の変動係数を図・1に示す。図・1より、角柱供試体の寸法が小さくなるにつれ破壊荷重のバラツキが大きくなる結果が得られた。この結果は、破壊荷重の上界と下界が実際に存在する可能性を示唆している。次に、点載荷試験の破壊荷重の平均をとり、平松・岡らによる破壊強度指標¹⁾を算出し、圧裂引張強度 S_t との関係の評価する。破壊強度指標 σ_h は次式で表される。

$$\sigma_h = 0.9 \frac{P}{D^2} \quad (1)$$

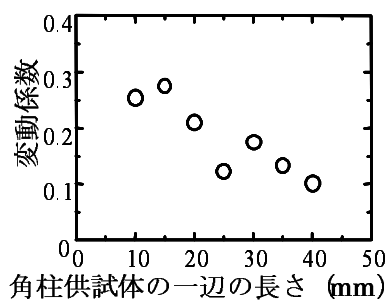
ここで P は破壊荷重の平均値、 D は載荷点間距離である。

平松・岡らによる破壊強度指標と圧裂引張強度の関係を図・2に示す。図・2より、平松・岡らによる破壊強度指標はほとんどの寸法において過大評価されており、寸法によるバラツキが大きいことを示している。つまり、平均破壊荷重から破壊強度指標を用いて破壊強度を算定することは不適切であることを意味している。

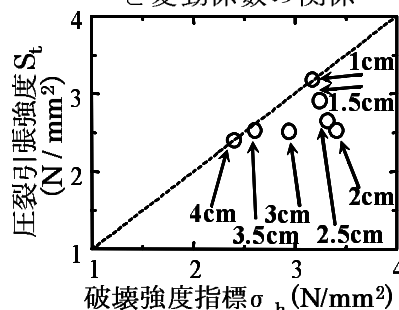
3. 上界定理による点載荷試験の理論的考察 極限解析法は上界定理、下界定理の二つの極限定理に基づいたものであり、この定理より求められた極限荷重の間に崩壊荷重が存在することを示唆している。Chen³⁾ によ

表・1 点載荷試験および、圧裂引張試験の試験個数

寸法	1cm	1.5cm	2cm	2.5cm	3cm	3.5cm	4cm
点載荷試験	23	23	20	17	20	18	15
圧裂引張試験	24	25	25	25	26	26	25



図・1 角柱供試体の大きさと変動係数の関係

図・2 破壊強度指標 σ_h と圧裂引張強度 S_t の関係

Keyword : 点載荷試験、上界定理、破壊強度指標、

連絡先 : 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地 TEL : 052-832-1151

れば円柱（図・3）の破壊荷重の上界値は次式で表される。

$$\frac{Q^u}{\pi a^2} = \frac{f'_c (1 - \sin \phi)}{2 \sin \alpha \cos(\alpha + \phi)} + \tan(\alpha + \phi) \left(\frac{bh}{a^2} - \cot \alpha \right) f_t \quad (2)$$

但し、

$$\cot \alpha = \tan \phi + \sec \phi \left[1 + \frac{\frac{bh}{a^2} \cos \phi}{\frac{f'_c (1 - \sin \phi)}{2} - \sin \phi} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

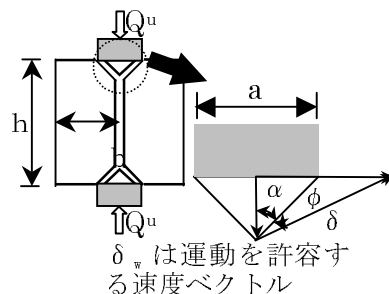


図-3 上界定理の破壊メカニズム

ここで、 Q^u は破壊荷重の上界値、 α はすべり面の角度、 ϕ は相対速度ベクトルの傾き、 f'_c は圧縮強度、 f_t は引張強度、 a は Punch の半径、 b は試験体の半径および、 h は試験体の高さを表している。Chen³⁾ によると、円柱供試体と角柱供試体は同じ破壊メカニズムであることが示されており、式 (2)、式 (3) は本研究の角柱供試体にも適用できることが述べられている。一方、下界定理は試験体の応力分布が釣り合い、破壊条件を満たしていない時の破壊荷重の下界値を求める定理である。本研究では上界定理に着目したため、下界定理による評価は行っていない。ここで、下界値 $\leq$ 崩壊荷重 $\leq$ 上界値の関係となり、崩壊荷重はこの範囲内にあると述べられている。さらに Chen⁴⁾ によれば、圧裂引張強度は、上界値と下界値のちょうど真中に位置することが示されている。

4. 上界定理による引張強度と圧裂引張強度の比較検討 極限解析理論は下界値 $\leq$ 崩壊荷重 $\leq$ 上界値であることを述べている。つまり、極限解析法は点載荷試験の破壊荷重にバラツキがあるのは当然であると述べており、上界定理から得られる、 Q^u は最大破壊荷重に対応しているとも考えられる。そこで、本研究では式 (2)、式 (3) に平均破壊荷重と最大破壊荷重を適用して、引張強度を算出し、圧裂引張強度との関係を実験的に評価した。ただし、最大破壊荷重については、寸法ごとの試験個数が少ないため、次式から得られたものとした。

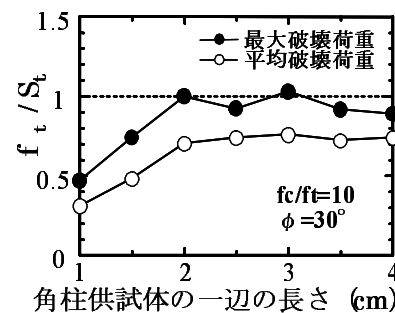


図-4 上限定理による f'_c / f_t と供試体寸法の関係

$$P_{\max} = m \left(1 + 2 \frac{\sigma}{m} \right) \quad (4)$$

ここで、 $P_{\max}$ は最大破壊荷重(N)、 m は平均破壊荷重(N)、 σ は変動係数である。

図-4 は、圧裂引張強度 S_t に対する引張強度 f_t の比 (f_t / S_t) と角柱供試体の寸法の関係を表わしたものである。但し、 $(f'_c / f_t) = 10$ 、 $\phi = 30^\circ$ である。図-4 よりいずれの寸法においても、最大破壊荷重から得られた比 (f_t / S_t) は、平均破壊荷重から得られた比 (f_t / S_t) より 1 に近いことがいえる。また、角柱供試体の寸法が 2cm 以上になると、最大破壊荷重から得られた比 (f_t / S_t) は、1 に極めて近いことが確認できる。つまり、式 (2)、式 (3) に平均破壊荷重よりもむしろ最大破壊荷重を適用することで、2cm 以上の角柱供試体の引張強度を精度良く推定できるといえる。一方で、2cm 以下の場合では、式 (2)、式 (3) による引張強度 f_t の推定精度は良くないことが示された。この理由は実際の破壊パターンが図-3 の仮定とは異なったためであると考えられる。この点については今後検討を行う必要がある。

5. 結論 モルタル供試体において、平松・岡らの破壊強度指標は、過大評価される結果が得られた。その要因としては、破壊強度指標を算出する際に、バラツキの大きい破壊荷重の平均値を用いたからと思われる。一方、平均破壊荷重ではなく、最大破壊荷重を適用することで、上界定理から算定された引張強度は 2cm 以上の供試体については精度良く推定されると言える。

参考文献 1) 平松良雄, 岡行俊, 木山英郎: 非整形試験片による岩石の引張強さの迅速試験, 日本鉱業会誌, Vol.81, pp1024-1030, 1965. 2) 木原稚登: 点載荷試験による単粒子まき土とモルタル供試体の破壊特性, 名城大学修士論文, 2000. 3) Chen, W.F.: Limit Analysis and Soil Plasticity, Elsevier, pp447-540, 1975. 4) Chen, W.F.: Plasticity in Reinforced Concrete, McGraw-Hill, Book Comp., 1982.