

セメントモルタルの動的引張強度推定について

山口大学工学部	正会員	工藤洋三
山口大学工学部	正会員	中川浩二
山口県庁	正会員	○深坂博己

1 はじめに

近年 計測機器の発達などにより、コンクリート、モルタルなどの動的性質を明らかにしようとする試みが多く、研究著によって企図されている。そのなかで、材料の破壊に関して、弾性波動が主要な役割を果たすような領域に関するものは比較的少なく、今後の研究に資するところが大きいといえる。ここでは、そのための基礎的資料を得ることを目的として、一元的な波動伝播が仮定されると考えられるセメントモルタル棒に、荷重継続時間 $70 \sim 90 \mu\text{sec}$ の動的圧縮荷重をし、棒の自由端からの反射引張波によって生ずる破断位置から $20 \sim 30 \mu\text{sec}$ の立上り時間をもつ弾性波動に関する動的引張強度の推定を行った。

2. 供試体

供試体の型枠には内径 20mm および 25mm の塩化ビニル円管を用いた。材料には普通ポルトランドセメントと豊浦標準砂を用い、配合は重量比で 水：セメント：砂 = $1:2:4$ である。打設は二層に分けて行い、各層ごとに振動台上で約 10 秒間加振した。室内に 2 日間保存した後脱型し、約 20°C の水中に 1 日間保存した。水中から上げてさらに 6 日間、 $90 \sim 100\%$ の湿潤状態で養生した後、枚令 28 日で試験に供した。試験時には、供試体を切断整形し、その長さを 50cm とした。また弾丸による集中載荷にともなう破壊と高周波のひびき変動をさけるため、衝撃端に約 2mm のゴムギャップを、さらにその前面に約 10mm の鋼製のギャップをとりつけた。

3. 実験装置および実験方法

Hopkinson bar 実験の概略を図-1に示す。使用した動ひびき計は $DC \sim 50\text{kHz}$ の範囲で $\pm 1\text{dB}$ で測定可能であり、今回の実験で使用した空気銃などによる動的荷重に対しては充分追従することがわかっている。

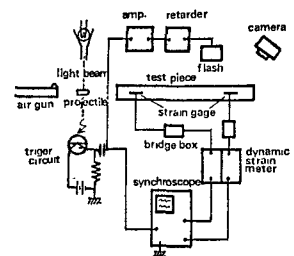


図-1 実験装置の概観

動的試験と同時に、モルタル棒と同配合で直径 5cm 、高さ 10cm の円柱供試体にひびきゲージをとりつけて、圧縮強度試験および引張強度試験を行った。

4. 強度推定に用いた仮定とその検討

動的引張強度推定については次のような一次元波動伝播状態を仮定した。

1) 材料は棒の全断面で一様な強度をもつ。2) 棒の軸に垂直方向の断面の応力は一定である。3) 圧縮域における応力-ひびき関係は線形である。4) 自由端において圧縮波は減衰することなく引張波となる。

これらの仮定のうち 1) については、棒の破断位置が比較的そろっていることや、棒の長さ方向に 5cm ずつ分割し切断した試験片による静的引張強度試験の結果からその妥当性を推測できる。また一部に微細な欠陥が存在したとしても、クラックの伝播速度に比べて弾性波の伝播速度がかなり速いため、材料の平均的強度を引張応力が越えた点において破断すると考えた。2) の平面保持の仮定については他の多くの材料で確かめられており問題ないと考えた。

高速圧縮荷重をうけるコンクリート、モルタルなどの応力-ひびき関係は高応力状態（破断時の最大応力に近い応力状態）を除いてほぼ線形状態と考えるとまじしつかなない。モルタル中に生じる動ひびきはその伝播の過程で減衰を示すが今考えているような条件のもとでは図-2にも示すとおり減衰はないと考えてよいであろう。

したがって仮定3), 4) とともに成立すると考えた。

動的引張強度の推定については 破断時に圧縮応力の影響をうけなかったと考えられる場合は入射した圧縮応力の最大値を、他の場合は圧縮応力と引張応力の重ね合せによって正味の引張応力を計算し引張強度とした。応力は動弾性係数にひずみを乗じて求めた。

5. 実験結果

圧縮強度および引張強度試験によって得られた静的な材料定数を表-1に示す。静弾性係数の値は、荷重 0.5 ton ~ 3.0 ton の間で繰り返し載荷してそのときの割線弾性係数から求めた。

モルタル棒中を伝播する縦波の速度から求めた動弾性係数の値は $35 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ である。写真-1はモルタルの破断直後(5msec 後)の状態であり、破断時の典型的なひずみ変動を図-3に示した。さらに前述した方法で推定した動的引張強度を、有効数字二桁で図-4に示した。これによれば、20~30 μsec の立上り時間をもつ動的載荷による動的引張強度は 100~120 kg/cm^2 で、この値は静的な引張強度に比べてかなり大きな値となっている。

6 あとがき

以上の結果から、破壊に対して弾性波動が主要な役割を占めるような領域でのセメントモルタルの動的引張強度を推定することができた。ここで用いたような方法の適用は、入射波の継続時間および弾性波の速度に対する棒の長さの関係など、いくつかの因子によって制限をうけてはいくが、動的引張強度の推定において Hopkinson bar 実験が極めて有効な方法であることが明らかになったと考える。

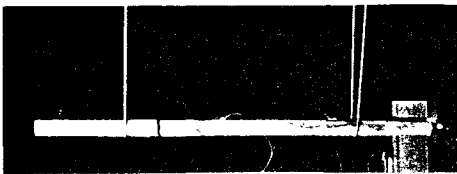


写真-1. 引張波によるモルタル棒の破断

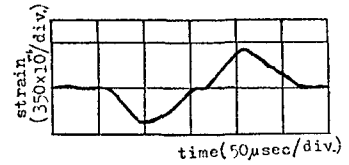


図-2 圧縮ひずみと引張ひずみ

圧縮強度	410 kg/cm^2
引張強度	34 kg/cm^2
弾性係数	$320 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
ポアソン比	0.20
密度	2.22 g/cm^3

表-1

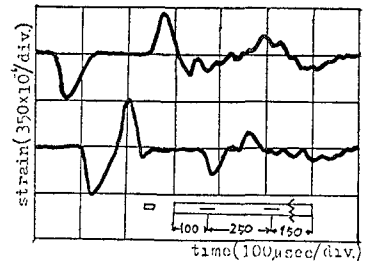


図-3 破壊時のひずみ変動

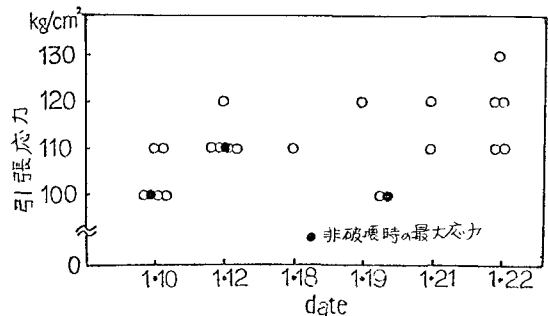


図-4 最大引張応力

参考文献

- 1) Goldsmith, W., M. Polibka and T. Yang, "Dynamic Behavior of Concrete," Experimental Mechanics, Vol. 6, No. 2, 1966, pp. 65-79.
- 2) Kolsky, H. and R. Raden, "Stress Waves and Fracture," in Liebowitz (Ed.), Fracture II, Academic Press, 1968, pp. 533-569