

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄

徳島大学工学部 正員 藤井 清司

建設省九州地建 正員 上阪 恒雄

まえがき 現場でよく行なわれる現位置岩盤せん断試験の試験法の適否を調べるため、モルタルセメントによる模型実験と応力解析を行なった。応力解析は、O.C. Zienkiewicz によって提案され、最近よく用いられている Initial Stress Process による弾塑性解析、および、No Tension法を用いた逐次破壊の追跡を行なう方法(以下逐次破壊追跡法という)の2種類で行なった。

実験 図-1に示すような試験体(厚み一様10cm)を重量比で、水:セメント:細骨材=1:2:6のモルタルで製作し、その際図-1に示す位置に2方向モールドゲージを埋設する。材令7日で実験を行ない、その時、圧縮強度 σ_c :180 kg/cm², 引張強度 σ_t :20 kg/cm², せん断強度 τ_0 :37 kg/cm², 弾性係数: 1.4×10^5 kg/cm², ポアソン比:0.15である。試験体周辺を載荷装置に固定させ、垂直荷重 V を1, 3, 5 tonのいずれかの一定値に保ちつつ、水平荷重 H を1 ton ぎざみで繰り返し増加させる。各荷重段階においてモールドゲージを測定し、仮想せん断面上でせん断破壊した時の H を最大水平荷重 H_{max} とする。

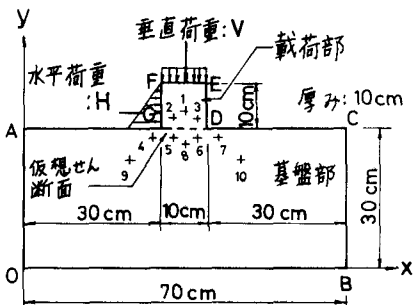


図-1 試験体

解析 図-1の試験体を3節点三角要素を用い、節点数82, 要素数132に分割する。境界条件は、実験と対応させるため、3辺を固定にしている。弾塑性解析における降伏条件は、Drucker & Prager らによって提案されているモールクーロン型の条件を用いており、次式で表わされる。

$$\tau = \alpha J_1 + \sqrt{J_2} - K \quad (1)$$

J_1 : 応力の1次不変量, J_2 : 応力の2次不変量, α, K : 摩擦角, 粘着力によってきまる定数である。逐次破壊追跡法は、次のように行なわれている。まず、試験体に V の一定値と $H=1$ tonを載荷し、No Tension 解析を行なう。仮想せん断面 GD 上の節点での応力を求め、破壊条件を満足するかどうかを調べる。破壊していると、その節点は同一座標の2つの節点として、以後考えられる。この操作を H の増加とともに行ない、仮想せん断面上のすべての節点で、この操作がなされた時の H を H_{max} とする。なお、破壊条件としては、基本的にはモールクーロン条件であるが、応力が引張であるときは、引張強度を超過し得ないという条件を含めている。

実験および解析結果 σ_c, σ_t より τ_0 を算定する式として次式を用いている。

$$\text{せん断強度}(\tau_0) = \frac{\sigma_t}{2\sqrt{\sigma_t/\sigma_c(1-3\sigma_t/\sigma_c)}} \quad (2) \quad (\text{日本鉱業会案})$$

(2)の τ_0 を用いて、(1)の α, K を決定すると、(1)の降伏条件式は、次式のようになる。

$$\tau = 0.222 J_1 + \sqrt{J_2} - 24.68 \quad (3)$$

図-2は、 $V=5$ tonの時の弾塑性解析法による塑性域の進展状況を示している。 $H=2$ tonより、

水平荷重・載荷側より順次塑性化するが、この図では、 $H=5\text{ ton}$ からのみ示している。図-3は逐次破壊追跡法による亀裂の進行を示したものである。この図も $H=5\text{ ton}$ より示している。また、各節点の破壊の種類は、水平荷重・載荷側よりほぼ中央までは引張破壊であり、反対側ではせん断破壊している。実験においても、載荷反対側において、すべりの痕跡が認められている。

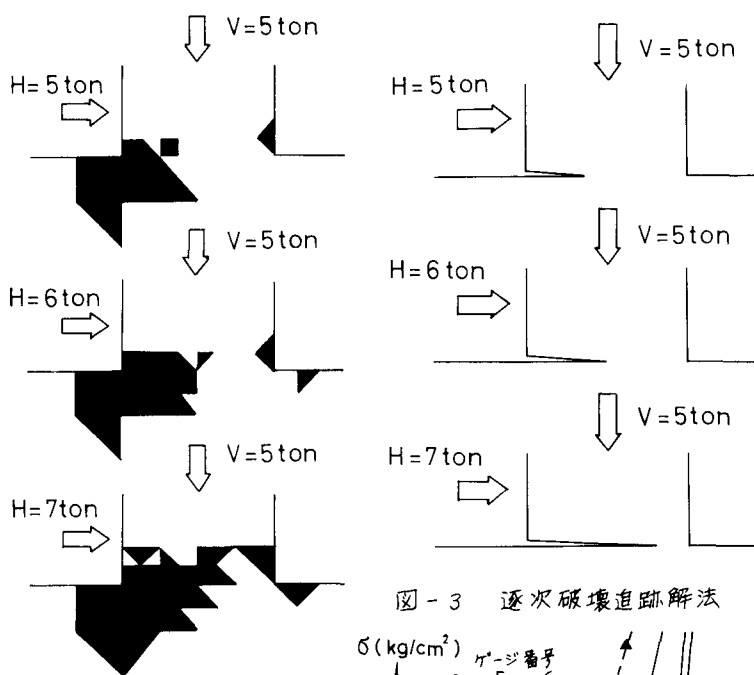


図-3 逐次破壊追跡解法

図-4は、 $V=5\text{ ton}$ の時の、

⑤、⑥番のゲージ位置での応力

の測定値と解析値について示したものである。弾塑性解析値は測定値と一応の一致を示すが、この解析では、仮想せん断面は塑性化しても連続である。ところが、実際には、キレツが出来て不連続となる。逐次破壊追跡法では、解析にキレツの進行が考慮されているため、キレツの進行とともに急激に変化する測定値によく近似できる。この実験のように、はっきりと不連続面が出来ようような構造物の解析には、単に、塑性化だけではなく、不連続面をも考慮した解析を行なうべきである。一方、Misesの降伏条件を用いた弾塑性解析法は、引張強度が小さく、内部摩擦角を有する岩盤材料には、適用できない。下表は、各垂直荷重の下での、各種解析より求めた最大水平荷重 H_{max} と実験による H_{max} を示す。15回の岩盤せん断試験の実験結果より得られるせん断強度と垂直応力の関係は $\tau=34.9$

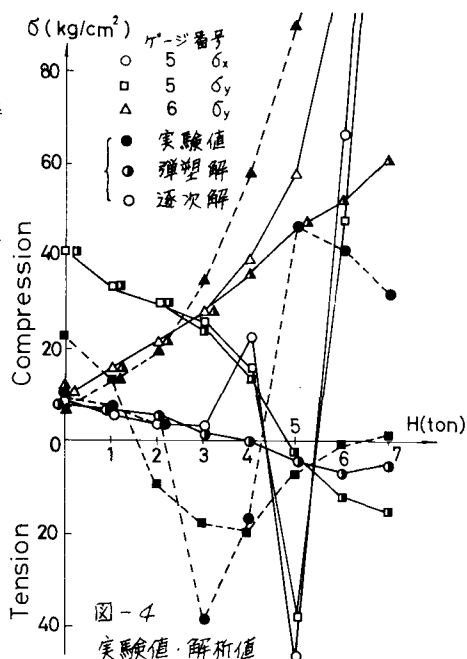


図-4 実験値・解析値

$+0.73\sigma' \text{ (kg/cm}^2\text{)}$, これらの材料強度試験の結果は $\tau=38.0+1.10\sigma' \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ である。なお、本計算は阪大、京大大型計算機センターで行なわれた。

垂直荷重 (ton)	弾性解 Mohr 説	弾塑性 解析	逐次破壊 追跡法	実験値 (ton)
1	4	5	4	4
3	5 or 6	6	6	6
5	6 or 7	7	7	7

参考文献: (1)伊藤、藤井、小寺“岩盤せん断試験における破壊機構について” 第25回土木学会年次学術講演会

(2)伊藤、藤井、上阪“岩盤せん断試験の実験” 昭和47年度 関西支部年次学術講演会