

論文

[1107] グラウトメゾンリーの強度および弾性係数の予測方法

正会員 ○馬場明生 (建設省建築研究所)

正会員 千歩 修 (建設省建築研究所)

1. はじめに

現在、日米共同研究において新しい組積造 (RM構造) の開発が行われている [1]。この構造はユニットの空洞部に鉄筋を配置し、グラウトを全充填することによって壁体を構成するグラウトメゾンリーである。ここでは壁体を構成する材料の強度を合理的に利用するために、構造設計上の基本となる強度としてプリズム強度を用いている。プリズムとはメゾンリーの最小単位とでも言うべきもので、ユニットを目地モルタルで組積し、グラウトを充填した角柱のことであり、このプリズムの一軸圧縮試験をプリズム試験といい (図1)、このときの強度をプリズム強度という。しかしながら、このプリズム試験は試験体が大きく、大きな容量の試験機が必要であり、また試験が難しいため、プリズムの構成材料の性質からプリズムの強度とヤング係数を予測する方法が必要である。

ここでは、プリズムの力学的性状に影響する基本要因を明らかにし、プリズムの強度とヤング係数を予測する方法を提案した。また、これらの方法に既往の実験データ [3] をあてはめ、これらの予測方法の実用性を明らかにした。

2. プリズムの力学的性状に影響する要因

プリズムの力学的性状は図2に示す事項によって影響される。これらの中で、一次的要因によって破壊のパターンが基本的に影響される。また、二次的要因は条件によって重要であることがある。

一次的要因としては、グラウトしたプリズムが圧縮されたとき、先ずフェイスシェルの部分で破壊するのか、内部のグラウトで破壊するのかが重要であり、さらにそれらおよび各材料の占有率によって定まる複合体として強度の値が決定される。

二次的要因のうち、ユニット形状は最終的な破壊の様相に、グラウトの充填性はグラウト部が

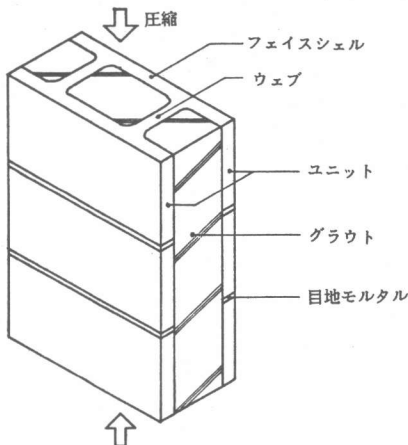


図1 プリズム試験の概念図

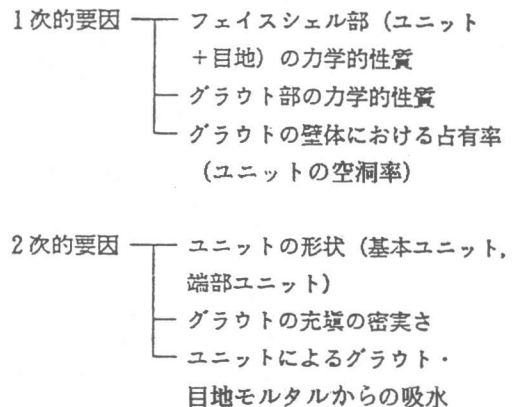


図2 プリズム強度の基本的要因

圧縮に対して有効に働くかどうかに影響している。さらに、ユニットの吸水性が大きい場合、施工時に目地モルタルおよびグラウトからユニットが水を吸収することによる目地モルタルおよびグラウトの強度の増加が起こり、また吸水の程度が極度に大きな場合には施工欠陥の発生による強度減が生じる。

### 3. プリズム強度の予測式の提案

グラウトメーソンの一軸圧縮強度であるプリズム強度 ( $F_{cm}$ ) を実用的に予測する式として、(1)式を提案する。

$$\frac{F_{cm}}{(1-\beta') \cdot f_{cu}} = e_s \left( 1 + \frac{\beta'}{1-\beta'} \cdot \frac{f_{cg}}{f_{cu}} \right) \quad \text{----- (1)}$$

ここで、  $f_{cu}$ ,  $f_{cg}$  : ユニットおよびグラウトの圧縮強度  
 $\beta'$  : ユニットの空洞率  
 $F_{cm} / (1-\beta') f_{cu}$  : グラウトメーソンの組積係数  
 $\beta' f_{cg} / (1-\beta') f_{cu}$  : グラウトの強度分担係数

表1 プリズム実験結果の概要(3)

シリーズ	ユニットの種類	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (10 <sup>5</sup> ×kg/cm <sup>2</sup> ) (1/3 セカント)			$\beta'$
		Unit	Grout	Prism	Unit	Grout	Prism*1	
1	コンクリート ユニット	151	— 298 406	64.1 129.9 128.5	0.82	— 1.99 2.15	0.34 1.06 1.18	0.400
	コンクリート ユニット	424	— 298 406	153.9 258.3 250.0	2.32	— 1.99 2.15	1.14 2.01 2.27	
	コンクリート ユニット	320	— 298 406	133.9 277.3 313.7	2.10	— 1.99 2.15	1.39 2.25 2.34	
	セラミック ユニット	1048	— 298 406	123.7 225.0 220.7	3.09	— 1.99 2.15	1.39 3.19 —	
	コンクリート ユニット	438	— 298 406 605	104.0 291.7 317.3 355.3	3.28	— 1.99 2.15 2.63	0.88 2.44 — —	
	コンクリート ユニット	489	— 298 406 605	155.7 301.7 348.0 328.0	2.84	— 1.99 2.15 2.63	1.57 2.00 2.47 2.67	
2	セラミック ユニット	489	— 88 207 232 320	162.3 189.6 242.7 287.4 349.5	1.72	— 1.20 1.66 1.80 2.11	0.69 1.16 — 1.58 1.89	0.632
	コンクリート ユニット	200	— 306 359	85.7 232.4 255.9	1.84	— 2.11 1.99	0.33 1.87 1.61	
	セラミック ユニット	1000	— 608	313.4 338.1	3.32	— 2.88	1.52 1.86	
3	コンクリート ユニット	304	240	231.4	1.92	1.99	1.88	0.703

注) \*1 全断面積による。

$e_s$  : グラウトしていないプリズムの組積係数

(1)式は、プリズムを目地モルタルで組積したユニットとグラウトの並列モデルと仮定した(2)式を基礎に導き出されたもので、適用可能な範囲における材料を用いた場合の最小の値を満足するために、安全率である組積係数をグラウトにも考慮したものである。

$$\frac{F_{cm}}{(1-\beta') \cdot f_{cu}} = e_s + \frac{\beta'}{1-\beta'} \cdot \frac{f_{cg}}{f_{cu}} \quad \text{----- (2)}$$

通常、 $f_{cu}$ 、 $f_{cg}$ および $e_s$ は実験によって決められるが、 $e_s$ の下限値は次の(3)式および(4)式で求めることができる〔4〕。

$$r = f_j / f_{cu} \leq r_0 \text{ の場合, } e_s = r \quad \text{----- (3)}$$

$$r = f_j / f_{cu} \geq r_0 \text{ の場合, } e_s = r_0 \quad \text{----- (4)}$$

ここで、
$$r_0 = \frac{(1-\beta) \cdot (1-\mu_j)}{1-\beta-\mu_j + \beta(1-Ktu)\mu_j}$$

$f_j$  : 目地モルタルの圧縮強度

$\mu_j$  : 目地モルタルのポアソン比

$Ktu$  : ユニットの脆度係数 (引張強度と圧縮強度の比)

また、 $Ktu$ および $\mu_j$ の実験値を用いない場合、 $r_0$ の値は現実にはありうる最低値としての0.5を採用することができる。

ユニットのヤング係数がグラウトのヤング係数に比べ十分に大きな場合あるいはユニットの空洞率が極端に小さい場合など、グラウト強度はプリズム強度にほとんど影響しないことがあり、このような場合、予測式は(5)式のように表わされる。

$$\frac{F_{cm}}{(1-\beta') \cdot f_{cu}} = e_s \quad \text{----- (5)}$$

この場合においても、プリズム強度は実験的に決定する方法の他に、前述の(3)式および(4)式に

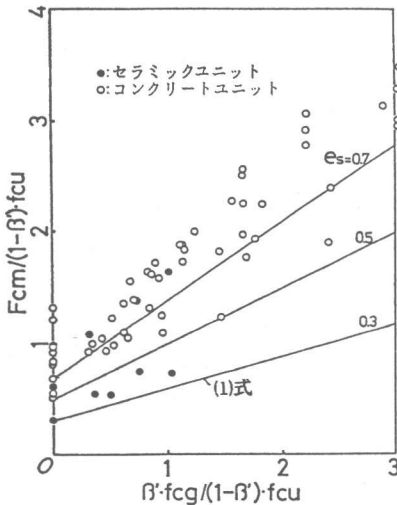


図3 グラウトの強度分担係数による組積係数の予測値と実験値の比較

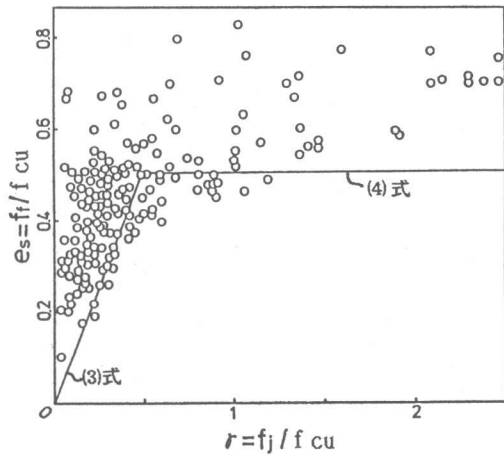


図4  $r$  (ユニットと目地モルタルの強度比)による $e_s$  (アングラウトプリズムの組積係数)の下限値の予測と実験値の比較

よって  $e_s$  を求め、プリズム強度を予測することができる。

#### 4. プリズム強度予測式の実験的検討

この検討に用いた実験データは、主に日米共同研究で行われたプリズム実験〔3〕によるものであり、実験結果の概要を表1に示す。

日米共同研究で行われたプリズム試験におけるグラウトの強度分担係数とプリズムの組積係数の関係を図3に示す。この図中には(1)式における  $e_s$  の値を0.3, 0.5および0.7と仮定した3本の線を示してあるが、 $e_s$  の値を適切に選定すれば実験データの下限値を合理的に与えられることがわかる。

既往のデータを用い、アングラウトメソソニーにおける目地モルタルとユニットの強度比 ( $r$ ) と組積係数 ( $e_s$ ) の関係〔4〕を示したのが図4である。図中に(3)式および(4)式で与えられる理論的な下限値を示す線を示すが、これらの式によって組積係数の下限値を表現できることがわかる。

#### 5. 構成材料のヤング係数の影響

グラウトメソソニーに一軸圧縮力が作用した場合、単純な並列モデルを考え、目地モルタルで組積したユニットの縦歪とグラウトの縦歪は等しいと仮定できる。この時、グラウトが先に破壊応力に達するか、ユニットが先に破壊応力に達するかによりプリズム強度の理論値は次のように計算することができる。

i)  $\eta = \alpha' / r' \geq 1$  の場合 (グラウト破壊)

$$\frac{F_{cm}}{(1-\beta') f_{cf}} = \frac{1}{\eta} \left( 1 + \frac{\beta' E_g}{(1-\beta') E_f} \right) \quad \dots(6)$$

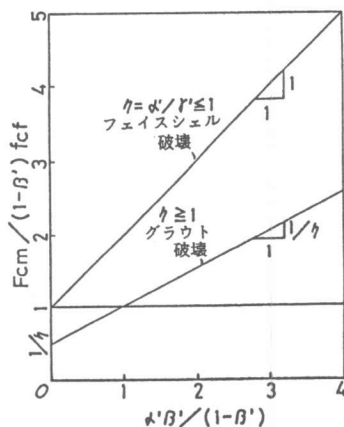


図5 グラウトの応力分担係数によるプリズム強度と破壊モードの予測

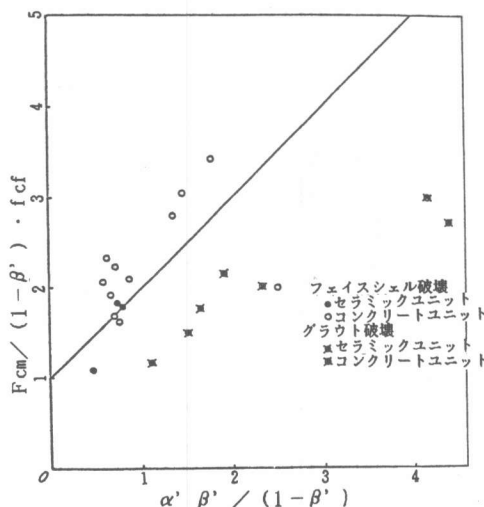


図6 グラウトの応力分担係数に基づく破壊モードと実験値の関係

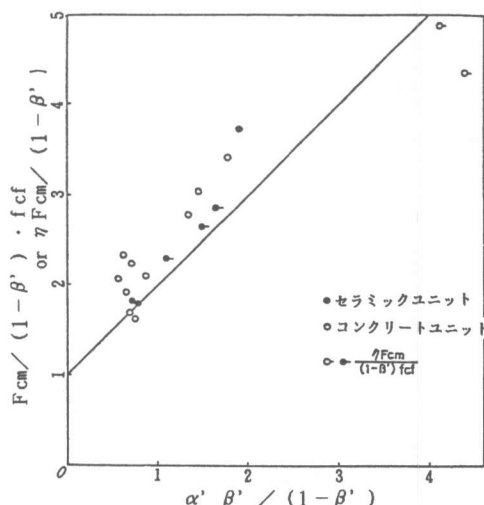


図7 グラウトの応力分担係数による破壊モードを考慮したプリズム強度の予測

ii)  $\eta = \alpha' / r' \leq 1$  の場合 (フェイスシエル破壊)

$$\frac{F_{cm}}{(1-\beta') f_{cf}} = 1 + \frac{\beta' E_g}{(1-\beta') E_f} \quad \text{-----(7)}$$

ここで,  $\beta' \cdot E_g / (1-\beta') E_f$  : グラウトの応力分担係数

$E_f, E_g$  : アングラウトプリズムおよびグラウトのヤング係数

$f_{cf}$  : アングラウトプリズムの圧縮強度

(6)式および(7)式を概念的に表現したものが図5である。

ここで,  $\eta \geq 1$  の場合, グラウト破壊が起こり,  $\eta \leq 1$  の場合フェイスシエル破壊が起こることになる。なお, ここでは,  $\sigma - \epsilon$  関係の非線形挙動やポアソン比の違いによる横方向力の効果は検討していない。

図6は, 組積係数とグラウトの応力分担係数の関係を示したものである。ここで,  $\eta \leq 1$  の場合, 破壊モードはフェイスシエル破壊となり, 実験値は(7)式で与えられる線とほぼ等しい値となる。(7)式と実験値の少々の変異はユニットの吸水効果によりグラウトの性状が変化していることなどが考えられる。また, グラウト破壊 ( $\eta \geq 1$ ) の場合は, 当然(7)式で予測される値と異った値となっている。

図7は, 図6と同様の図であるが, グラウト破壊となるデータについては $\eta$ で割った値をプロットしてある。この図によると, ユニットの吸水によりグラウト内部に欠陥ができたと思われる一部のデータを除き, すべての値が理論値に合致しているといえる。

小さな空洞部を持つユニットあるいは吸水性の特に大きなユニットについては上述の傾向を認めることができない。これらの場合, グラウト内部に欠陥ができていると考えられ, グラウトのプリズム強度に対する効果はほとんど考えられない。

#### 6. グラウトプリズムのヤング係数の予測

プリズムのヤング係数の決定方法は, 実験による方法の部分であるアングラウトプリズムとグラウトの部分の並列モデルが提案でき, (8)式を用いて予測できる。トの部分アングラウトプリズムとグラウトの部分の並列モデルが提案でき, (8)式を用いて予測できる。

$$\frac{E_m}{(1-\beta') \cdot E_f} = 1 + \frac{\beta'}{(1-\beta')} \cdot \alpha' \quad \text{-----(8)}$$

ここで,  $E_m$  : プリズムのヤング係数

$\alpha' = E_g / E_f$

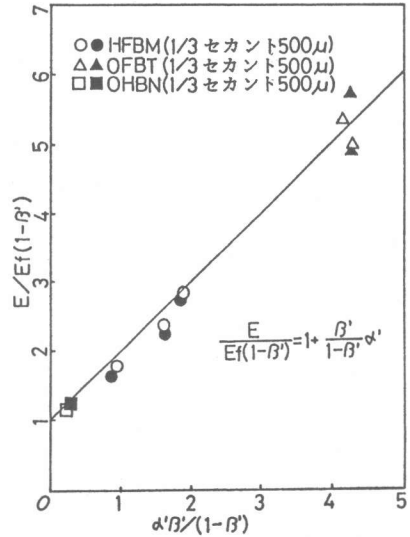


図8 グラウトプリズムのヤング係数の予測と実験値の比較

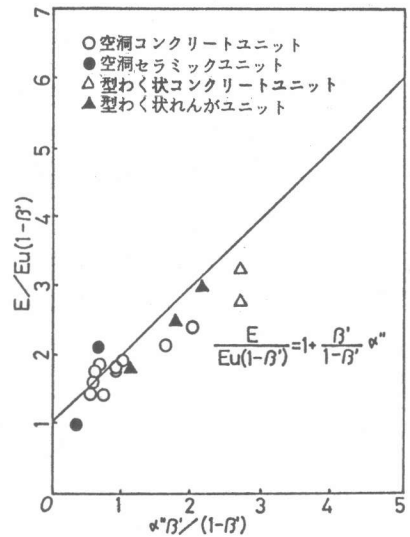


図9 グラウトプリズムのヤング係数の実用的な予測と実験値の比較

もし、同じ縦歪における組積されたユニット部分とグラウト部分のヤング係数が明らかな場合、グラウトメーソンのヤング係数は図8に示されるように正確に計算することができる。

(8)では、目地モルタルで組積したユニットのヤング係数を求める必要があり、実用的には目地の効果が小さいことが多いので、目地部分の効果を除いて、ユニットとグラウトの並列モデルを仮定すると、(9)式が導かれる。

$$\frac{E_m}{(1-\beta') \cdot E_u} = 1 + \frac{\beta'}{(1-\beta')} \cdot \alpha'' \quad \text{----- (9)}$$

ここで、 $\alpha'' = E_g / E_u$

$E_u$  : ユニットのヤング係数

図8と同じデータを用い、(9)式による予測式と実験値の関係を図9に示す。図8と比較すると予測の精度は悪くなるが予測値として十分に利用可能と考えられる。

## 6. 結論

- (1) グラウトの効果を考慮したグラウトメーソンのプリズム強度の実用的な予測方法を提案した。
- (2) アングラウトおよびグラウトメーソンのどちらのタイプにも適用できる組積係数を提案した。
- (3) プリズム強度に対するグラウトの効果の程度を表すものとして「グラウトの強度分担係数」を提案した。
- (4) 組積係数と「グラウトの強度分担係数」の関係による予測法を提案し、実験的に検証した。
- (5) グラウトメーソンのヤング係数の予測のためにヤング係数の複合則を提案した。

## 参考文献

- [1] 日米共同組積造国内技術調整委員会, "組積造に関する日米共同大型耐震実験研究, RM構造の開発をめざして", 季刊カラム No. 101, 1986年
- [2] A.Baba and O.Senbu, "A Predictive Method of Prism Strength of Grouted Masonry, 2nd JTCCMAR, Sept. 1986, Keystone
- [3] A.Baba and O.Senbu, "Influencing Factors on Prism Strength of Grouted Masonry and Fracture Mechanism, "1st JTCCMAR, August 1985, Tokyo
- [4] A.Baba, "A Suggested Concept for Predicting Prism Strength, "7th International Brick Masonry Conference, Feb. 1985, Melbourne, Australia

## 謝辞

本研究は組積造に関する日米共同研究の一部として行われたものであり、関係諸氏に感謝いたします。