

不連続体内の力学的挙動に対する解析

京都大学工学部 正 員 ○ 山本和夫
京都大学大学院 学主員 有岡正樹

1. まえがき 筆者らは現在まで主にブロック・ジョイント・モデルを対象とした不連続性基盤の力学的特性について実験的に研究を行ってきた。今回はこの基盤に適用されるべき理論的解析の方法と数値計算例と実験結果と対比しながら述べる。

2. 理論的解析法 この理論において考えたモデルは図1に示すように各ブロックは完全剛体であって、各ジョイント部分に各2個・計8個のバネをもっており、それらのバネは直しずみとせん断しずみの両方に抵抗するものとする。各ブロックのある荷重強度における鉛直、水平および回転変位とそれぞれ V_i , U_i および Φ_i (添字 i はブロックの番号) とすれば、例えば④のバネに働く鉛直およびせん断応力 δ_a , τ_a はつぎのように与えられる。

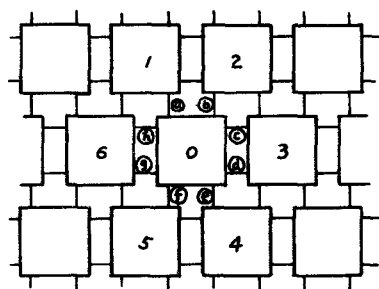


図1 力学的モデル

$$\left. \begin{aligned} \delta_a &= \frac{E}{l_2} \{ (V_0 - V_1) - m(\Phi_0 + \Phi_1) \} \\ \tau_a &= \frac{G}{l_1} \{ (U_0 - U_1) + n(\Phi_0 + \Phi_1) \} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 $m = \frac{1}{4}(l_1 + l_2)$, $n = \frac{l_2}{l_1}$ 。 E , G , l_1 および l_2 はバネ(ジョイント)の弾性係数、せん断弾性係数、ブロック辺長およびバネの長さである。この④～⑧までのバネにより0,7ブロックに作用する力の鉛直および水平方向のつりあいとモーメントとつりあいはつぎのように与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \text{● 鉛直方向の力} & \quad E \{ 4V_0 - (V_1 + V_2 + V_4 + V_5) + m(-\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_4 - \Phi_5) \} \\ & \quad \text{のつりあい} \quad + G \{ 4V_0 - 2(V_3 + V_6) + 2n(\Phi_3 - \Phi_6) \} = 0 \\ \text{● 水平方向の力} & \quad E \{ 4U_0 - 2(U_3 + U_6) \} \\ & \quad \text{のつりあい} \quad + G \{ 4U_0 - (U_1 + U_2 + U_4 + U_5) + n(\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_4 - \Phi_5) \} = 0 \\ \text{● モーメント} & \quad Em \{ -V_1 + V_2 + V_4 - V_5 + m(-8\Phi_0 - \Phi_1 - \Phi_2 + 2\Phi_3 - \Phi_4 - \Phi_5 + 2\Phi_6) \} \\ & \quad \text{のつりあい} \quad + Gn \{ 2V_3 - 2V_6 + U_1 + U_2 - U_4 - U_5 + n(-8\Phi_0 - \Phi_1 - \Phi_2 - 2\Phi_3 - \Phi_4 - \Phi_5 - 2\Phi_6) \} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

さて(2)式を各ブロックに適用して多変連立方程式を解けば、各々の V_i , U_i , Φ_i は決定される。これを(1)式に代入して各バネに働く応力 σ , τ を算出して、つぎに表わされる簡単化したバネの局部破壊条件式より局部破壊の有無を検討する(局部破壊条件式は別に(3)式だけに限定されるものではない)。

$$\tau = C + \sigma \tan \varphi$$

ここに、 C および $\tan \varphi$ はバネ(ジョイント)の粘着力および摩擦係数である。

もし、あるバネが破壊に達しておれば、そのバネを取り去って、新たなつりあい式より求めた σ , τ を(3)式より検討して逐次破壊を考察していく。

3. 電子計算機による数値計算例 数値計算例に用いた諸定数はつぎのように規定した。

$$E = 20,000 \text{ kg/cm}^2, \quad \nu (\text{ポアソン比}) = 0.3$$

$l_1 = 4\text{cm}, l_2 = 0.3\text{cm},$
 $B(\text{荷重幅}) = l_1, 2l_1, 3l_1$

$C = 10.2 \text{ kg/cm}^2, \tan \theta = 0.611$

i) $\frac{l_1}{B} = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ の場合の初期フラック

数値計算の結果より、このモデル

$\frac{l_1}{B}$	数値計算		実験	
	位置	荷重強度	位置	荷重強度
1	1④	52 kg/cm^2	1④	130 kg/cm^2
$\frac{1}{2}$	4④	70	2④	160
$\frac{1}{3}$	4④	67		

$\frac{l_1}{B}$	数値計算		実験	
	位置	荷重強度	位置	荷重強度
1	4④	100 kg/cm^2	4④	160 kg/cm^2
$\frac{1}{2}$	1④	65		
$\frac{1}{3}$	2④	44	1④	100

においては等方等質体には見えない。表1 初期フラックの発生 (case1) 表2 初期フラックの発生 (case2)

い引張応力がフラックの回転によって随所のバネに現われており、破壊はせん断応力が支配的である局部せん断型破壊、引張応力が支配的である局部引張型破壊およびその中間的なものに分けられる。したがって、初期フラックは必ずしもせん断応力の大きい第1層から発生するとは限らず、表1, 2 に示されるような位置のバネより発生する。これを図2, 3 に示す実験結果と比較すれば、 $\frac{l_1}{B} = 1$ の場合は case1 と case2 とも両者は一致しているが、 $\frac{l_1}{B} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ の場合はいずれも数値計算における初期フラックと実験における第2フラックの位置が一致している。また初期フラックの発生する荷重強度については、実験結果のほぼ等しい値を示しているが、これは仮定したジョイントの性質に因縁しているものと思われる。

ii) $\frac{l_1}{B} = 1$ の場合の逐次破壊 図4 および表3 はそれぞれ実験および数値計算より得られた逐次破壊様相を示す。

この荷重状態では局部せん断型破壊が優先して、ついに局部引張型破壊が発生するということが両者の結果において一致している。なお、実験においては初期フラックが階段状に下層へ進展した後、内部の局部引張型破壊が発生しているが、これはフラック先端において誘

発される局部引張破壊が原因の一つと考えられる。またフラックの発生する荷重強度はi)のときと同様に数値計算の値は実験値のほぼ等々となっている。表4には載荷中

順	位置	荷重強度
1)	1④	52 kg/cm^2
2)	3④	94
3)	5④	94
4)	8④	162

のほぼ等々となっている。表4には載荷中 表3 逐次破壊 (数値計算)

線上の鉛直応力の集中度のフラック

の進展による変化を示している。

4. あとにかき この理論的解析はこの

種のフラック・ジョイント・モデルの逐

次破壊様相とかなりよく表われてお

り、大容量の電子計算機を用い小

より複雑な状態の現象も把握でき

荷重 増大 順	B 2B 3B 4B			
	B	2B	3B	4B
1)	64	35	30	24
2)	100	48	37	27
3)	100	57	43	30
4)	100	57	51	32
総合 平均値	100	50	50	38

表4 載荷中線上への鉛直応力の集中度 (数値計算) (荷重強度は100と35)

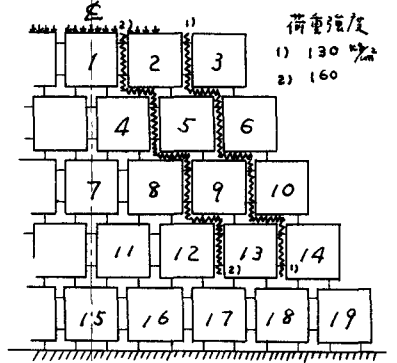


図2 $\frac{l_1}{B} = \frac{1}{2}$ (case1) の逐次破壊 (模型実験)

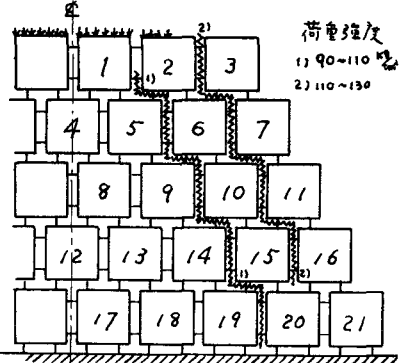


図3 $\frac{l_1}{B} = \frac{1}{3}$ (case2) の逐次破壊 (模型実験)

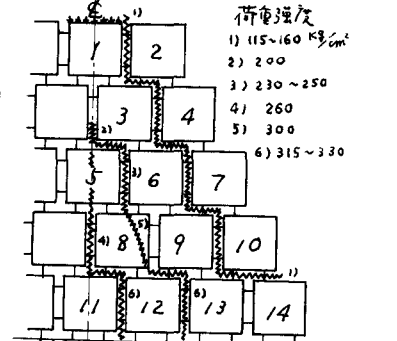


図4 $\frac{l_1}{B} = 1$ (case1) の逐次破壊 (模型実験)