

プレハブ式消波防波堤のブロック間接合部における非線形ばね剛性

九州共立大学 正員 小 坪 清 真
 九州工業大学 正員 高 西 照 彦
 九州工業大学 正員 ○多 田 浩

1. まえがき

プレハブ式の防波堤において一番問題となるのは各コンクリートブロック間の接合方法である。接合方法としては、図-1に示すように、相対する2つのブロック間に目地材として硬質ゴムを敷き、鋼棒を通して両ブロック間を接合するという方法が考えられている。防波堤の応力解析に際しては、この接合部の剛性を的確に評価することが重要である。著者ら¹⁾はすでに、プレハブ式防波堤接合部を単純にモデル化した模型を対象にして、その接合部におけるばね剛性を2次元及び3次元FEM解析法を用いて求め、渡辺ら²⁾が実験的に求めたばね剛性との比較検討を行っている。渡辺らが作製した接合部の模型は、3個のコンクリートブロックに鋼棒を通してプレストレスを加えたもので、ブロック間接合部の剛性を求めるために中央のブロックに荷重を加えることによって2面せん断試験を行ったものである。本論では、実規模のプレハブ式防波堤の接合部の設計断面を対象としてFEM解析を行い、接合部のばね剛性を求めることにした。また、計算速度を早める目的で、前回用いたFEMによる計算法に若干の修正を加えた。

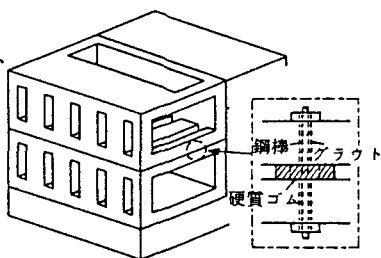
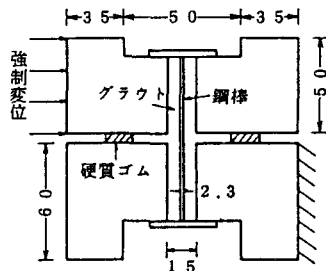


図-1 防波堤概略図

2. 計算方法

防波堤の接合部付近を切り出し、図-2に示すようにこれを平面歪の仮定に従う長方形二次元モデルに置換した。コンクリートと目地材の接触面における剥離及び滑動をも考慮することができるように、コンクリートと目地材の接触面にGoodman³⁾によって提案されたジョイント要素を配置した。ジョイント要素の形状を図-3に、その要素剛性マトリックス (k_n : 鉛直方向剛性, k_s : せん断方向剛性) を図-4に示す。剥離あるいは滑動が生じるかどうかの判定に際しては、それぞれジョイント要素を挟む2つの面における鉛直あるいはせん断応力の平均値を用いた。ジョイント要素を挟む2つの面における応力・ひずみ関係を図-5に示す。

図-2 接合部2次元モデル
(単位 cm)

接触面で剥離が生じた場合はジョイント要素を挟む2面の平均鉛直応力 σ 及びせん断応力 τ が0になるように、滑動が生じた場合はせん断応力が $\tau = \mu \sigma$ (μ :

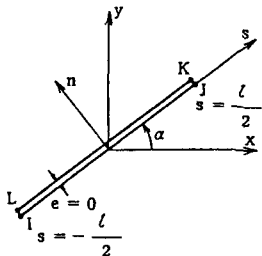


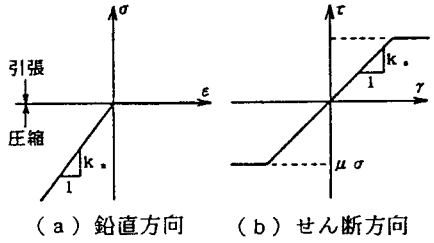
図-3 ジョイント要素

$$[K] = \frac{l}{4} \begin{bmatrix} k_n & 0 & k_s & 0 & -k_n & 0 \\ 2k_n & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_s & 0 & -k_n & 0 & -k_n & 0 \\ 2k_n & 0 & -2k_n & 0 & 0 & 0 \\ k_s & 0 & k_n & 0 & 0 & 0 \\ \text{対称} & & 2k_n & 0 & 0 & 0 \\ & & & k_n & 0 & 2k_n \end{bmatrix}$$

図-4 ジョイントの要素剛性マトリックス

摩擦係数) になるように、当該ジョイント要素節点に補正荷重を加えて、上記の条件 ($\sigma = 0$ 等) があらかじめ定められた精度で満足されるまで計算を繰り返した。補正荷重は次のようにして定めた。あらかじめ、個々のジョイント要素の節点に単位のせん断力及び鉛直力を加えたときのジョイント要素を挟む2つの面における応力を算出し、その逆数を求めておく。次に、必要に応じてその値を補正すべき応力値に乘ずる

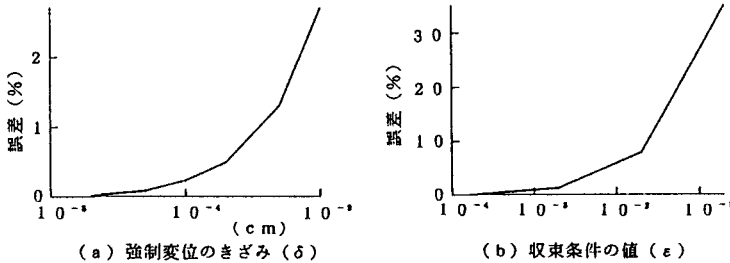
ことによって、ジョイント要素の節点に加えるべき補正荷重を得る。本論では、収束を早めるために、この補正荷重に適当な加速係数を乗じて計算を行った。計算ではまず鋼棒に一定のプレストレスを加えた状態を初期値とし、次に図-2に示すように、下部のコンクリート部の一方の側面を拘束し、上部のコンクリート部の一方の側面に鋼棒軸直角方向の強制変位を段階的に加えた場合について、上部のコンクリート部の変位と反力を求め、両者の



(a) 鉛直方向 (b) せん断方向

図-5 要素の応力-ひずみ関係

比から各段階における接合部のせん断ばね定数を算出した。各段階で加えるべき強制変位量のきざみ (δ) 及びそのときの収束条件の値 (ϵ 、繰り返し計算における節点変位の差と強制変位量のきざみとの比) を決定するために、あらかじめこれらの値をいろいろ変えた場合についてばね剛性の計算を行い、それぞれの場合に対する計算誤差を求めた。なお、このときの計算誤差の基準 (誤差 = 0 と考えてよい) としては $\delta = 10^{-4}$ cm, $\epsilon = 10^{-4}$ を採用した。 δ 及び ϵ と計算誤差との関係を図-6に示す。同図より δ として 0.0001 cm, ϵ として 0.01 の場合を採用した。このとき計算誤差は 6% 以下となる。FEM 解析においては、4 節点 4 角形アイソパラメトリック要素を用いた。モデルの要素分割図を図-7に示す。要素数は 204 (内ジョイント要素数 20)、節点数は 243 である。



(a) 強制変位のきざみ (δ)

(b) 収束条件の値 (ϵ)

図-6 計算誤差に及ぼす強制変位のきざみと収束条件の影響

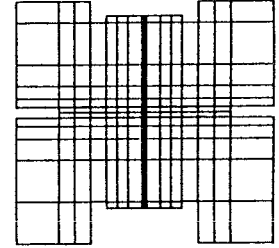


図-7 要素分割図

3. 計算結果及び考察

初期プレストレス (10tf を加えた) 過程において既に左右両端部の硬質ゴムとコンクリートとが剥離を起こしており、さらに、せん断過程に移ると、ゴム及びグラウトとコンクリートとの接触面全体にわたって剥離及び滑動が進行するために、この部分のせん断力の負担割合が少なくなってくる。図-8に各段階でのせん断変位とせん断力及びばね定数の関係を示す。この図からせん断変位が極くわずか (0.0001 cm) のときからすでに剥離や滑動が生じていること、また、ばね定数はせん断変位が 0.02 cm の付近からはほぼその傾斜が一定になっていることがわかる。このときコンクリ

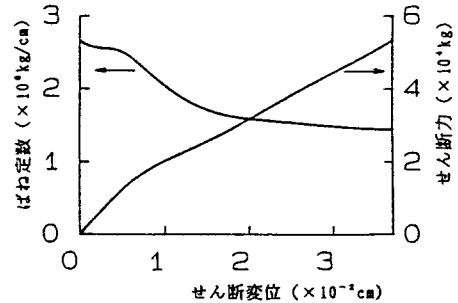


図-8 せん断変位に対するせん断力・ばね定数の変化

ートと目地材の接触面では全面にわたって剥離、滑動が生じている。計算速度を早める目的で、前述のように、ジョイント要素に接する要素面を対象として剥離及び滑動の判定及び補正荷重の算出を行う方法は、収束の条件及び補正応力に乘ずる係数の取り方いかんによっては、計算値が発散することがある。これを防ぐには、滑り面 (特に剛性の変化が大きい所) での要素分割を密にして、ジョイント要素に接する 2 つの要素面における応力の値に互いにあまり差がないようにすればよいのではないかと考えられる。

- 1) 小坪他：プレハブ式防波堤におけるばね定数の算定，西部支部研究発表会，1989.
- 2) 渡辺他：各種目地材を用いたプレキャストブロック接合部のせん断特性，西部支部研究発表会，1988.
- 3) Goodman (赤井・川本訳)：不連続性岩盤の地質工学，1978.