

脆弱面を考慮した既存 FEM メッシュの再分割法に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○大家 史, 大谷芳輝, 田部井和人

1. はじめに

有限要素解析において、地盤の三次元モデルは解析精度のことを考えると六面体要素で分割することが望ましいが、地盤内の脆弱面形状は自然現象ゆえに不規則な形状をしており、これを反映させてメッシュを作成する作業には多くの工数を要する。一方で工期が極端に短い工事や施工過程で新たに発見される脆弱面への対応など、解析作業を迅速に進める要求は増大している。このような状況を受け、脆弱面付近での解析精度の低下をある程度許容するが、短期間でメッシュを作成できるツールを開発したので報告する。

2. ツールの概要

本ツールは地層情報を含んだ既存地盤メッシュを脆弱面で再分割することでこれを追加するものである。なお、脆弱面にも上下面を接続するジョイント要素が追加される。以下、メッシュの条件について列挙する。

- ・ 再分割前の地盤メッシュ要素タイプは六面体または五面体（三角柱）のみで構成される。
- ・ 再分割後の地盤メッシュ要素タイプは六面体が最適であり、次いで五面体（三角柱）を用いる。四面体（三角錐）は必要最小限にとどめる。
- ・ 脆弱面に追加されるジョイント要素は、上下面が同形状の要素すなわち六面体または五面体（三角柱）で、かつ指定した厚みを有するものとする。

3. メッシュ再分割方法

3.1 メッシュ再分割フロー

既存地盤メッシュに厚みを有する脆弱面を直接追加し、かつそこに設定されるジョイント要素が上下面同形状となるようなロジックは複雑となるため、メッシュ再分割は図-1のようなフローで処理を行う。STEP0 でメッシュの前処理を行い、STEP1 で脆弱面により既存地盤メッシュを切断する。STEP2 では、その脆弱面に厚さを持たせる変形解析を行ない、STEP3 でこの変位後の座標でメッシュを置き換えて最終的なメッシュデータとする。メッシュ再分割プロセスに変形解析を介させることで、ゆがみの少ないメッシュを構築できるようにした。以下、各 STEP の処理内容について述べる。

STEP0

既存地盤メッシュの前処理

STEP1

既存地盤メッシュを脆弱面で切断

STEP2

脆弱面に厚みを持たせるための変形解析

STEP3

既存地盤メッシュを変位後の座標に置き換え

図-1 メッシュ再分割フロー

3.2 STEP0

既存地盤メッシュを脆弱面で切断する前処理として、脆弱面の延長を行なう。脆弱面縁処理は既存地盤メッシュ内部にすりつけるのではなく、既存地盤メッシュ境界までこれを延長し、物性設定で調整する。

次に、既存地盤メッシュの内部節点で脆弱面内にあるもの、表面節点で脆弱面縁／交差部にあるものを移動し分割に支障をきたさないよう調整する。この際、既存地盤メッシュの節点は移動可能、脆弱面は移動不可とする。なお脆弱面の形状が(i)分岐、(ii)3つの脆弱面が交差、(iii)局所的な屈曲がある場合は再分割できない。

3.2 STEP1

切断処理は、分割される対象要素の対面形状が脆弱面により相似に切断される場合（これを『金太郎飴』と呼称）はその断面で分割する。一方、隣接要素の関係から再分割が必要になる場合は Delaunay 分割を行う。なお、メッシュ品質を保つため、ねじれた要素や負体積になる要素の補正を行う。最後に脆弱面により分割

キーワード 有限要素法, メッシュ, 地盤, 脆弱面, 自動ツール

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部解析技術部 TEL03-6229-6906

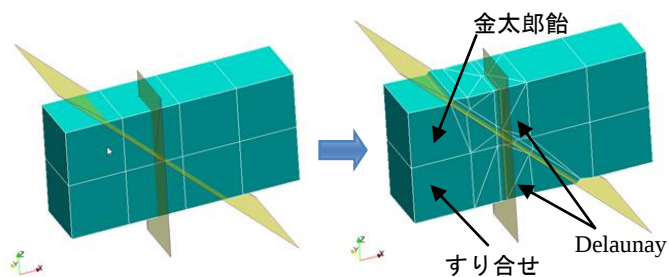


図-2 要素の切断方法

表-1 脆弱面追加前後のメッシュ属性の比較

	既存地盤メッシュ	脆弱面追加メッシュ
節点数	17360	25731
六面体要素	15300	14784
五面体要素	0	2258
四面体要素	0	43301
要素数	15300	60343

された要素にすりつく要素の調整(すり合せ)を行なう(図-2 参照)。

3.3 STEP2

STEP1により再分割されたメッシュデータに脆弱面の厚みを持たせるため、強制変位およびダミーの一様物性を付加する。これを用い構造解析を行い、変位量を出力する。

3.4 STEP3

STEP1のメッシュデータの座標にSTEP2の変位データを足し合わせた座標で置き換えたものを最終的なメッシュデータとする。

4. メッシュ再分割例

本ツールの使用例として、既存地盤メッシュ(図-3)を脆弱面メッシュ(図-4)で再分割した結果を示す。STEP2の結果が図-5、STEP3の結果が図-6となる。この分割によるメッシュ属性の比較を表-1に示す。脆弱面形状の制限および負体積要素になるなどで、再分割できなかった要素は18個あり、この部分については手作業での修正となる。なおSTEP0~STEP3の処理時間は5分程度となる。

5. おわりに

既存地盤メッシュを脆弱面で再分割するツールについて紹介した。脆弱面付近の解析精度低下を許容すると、最小限の手作業が必要になるが、メッシュ修正時間を大幅に短縮できる。なお、脆弱面に厚さを設定する処理に強制変位による構造解析を利用したことにより、不整合やゆがみの少ないメッシュを構築し、解析精度低下を最小限に抑えている。

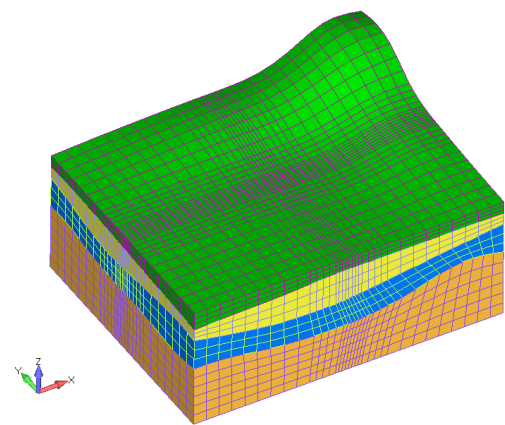


図-3 既存地盤メッシュ

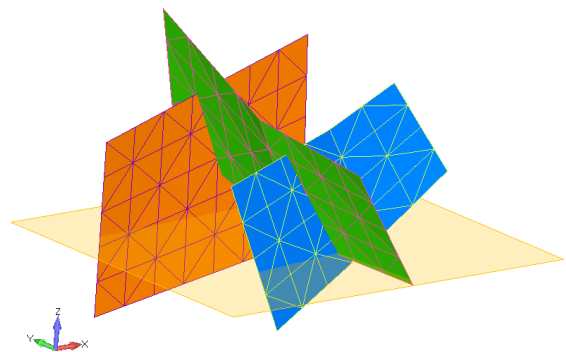


図-4 脆弱面メッシュ

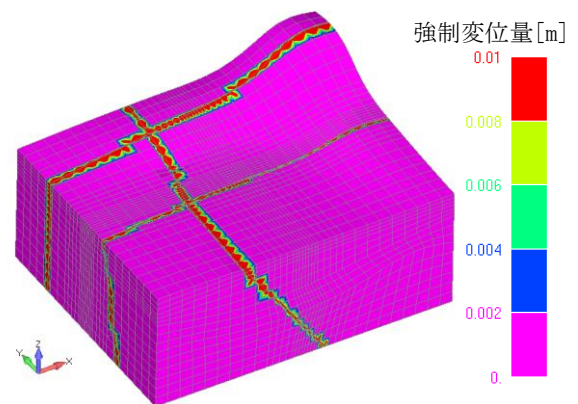


図-5 強制変位を与えた結果 (STEP2)

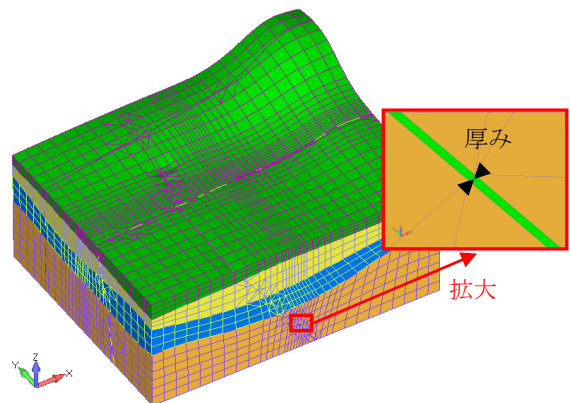


図-6 脆弱面を追加したメッシュ (STEP3)