

山岳トンネルにおける 3 次元数値解析の適用状況

応用地質(株) 正会員 竹林亜夫

五洋建設(株) 正会員 土田淳也

(株)ケー・エフ・シー 正会員 岡部 正

(株)ケー・エフ・シー 正会員 ○森本真吾

1．はじめに

山岳トンネル技術の発展に伴い，I 期線との近接施工や既設トンネルとの交差，低土被りの都市域 NATM 等，従来よりも 3 次元的な影響を考慮する必要のある複雑な条件のトンネル工事が増加している．必然的にそれらの工事において，3 次元数値解析を用いた力学的な安定性を評価，検討するケースが多くなっているものと考えられた．

そこで，ジェオフロンテ研究会「三次元解析 WG」では，山岳トンネルを対象にした 3 次元数値解析の適用状況を調べるため土木学会の「トンネル工学論文・報告集，vol.1～vol.14」¹⁾を調査し，その目的や手法の整理を行った²⁾．その結果，数値解析を使用した論文は合計で 168 編（2 次元数値解析 121 件，3 次元数値解析 61 件，重複有り）であった．本論文は，3 次元数値解析の現状を概括し，その使用傾向について報告する．

2．解析数の変遷

図-1 に 2 次元および 3 次元数値解析を用いた論文件数の経年推移を示す．図より 2 次元，3 次元数値解析を用いた研究論文は多少変動しているが直近の 5 年間は明らかに増加傾向にある．2 次元数値解析は，3 次元数値解析に比べ短時間でできることより，設計のみならず施工中にも補助工法等の検討を行い施工にフィードバックできるなど，採用される機会が多くなっている．3 次元数値解析の論文件数は 2 次元数値解析の概ね 50%程度であるが，2 次元数値解析と同様に増加傾向にある．

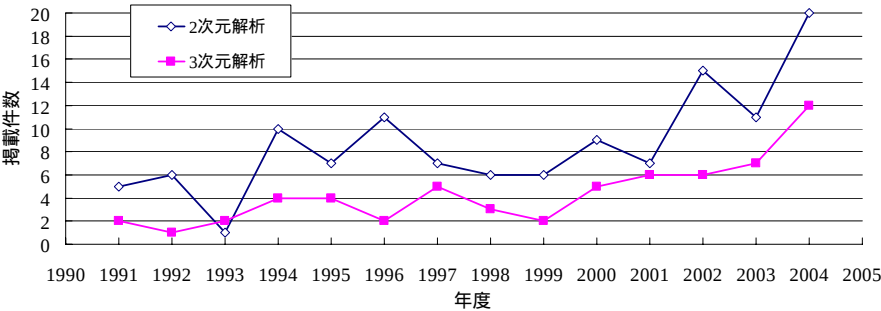


図-1 数値解析論文件数の経年推移²⁾（トンネル工学論文・報告集）

3．3次元数値解析の目的および解析手法の推移

山岳トンネルにおける 3 次元数値解析は，表-1 に示すように，研究段階から施工段階まで多岐にわたり様々な目的で実施されている．

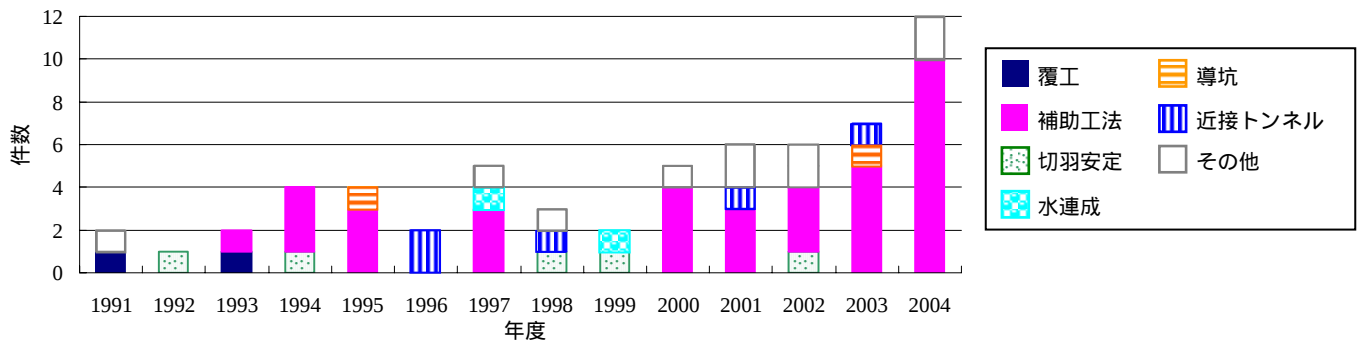
図-2 は 3 次元数値解析の解析目的の経年変化を示している．従来，3 次元数値解析は導坑や近接トンネルといった特殊な施工条件下の技術課題を研究および技術開発の目的で使用されていた．ところが，2000 年以降は補助工法に関係する設計・施工段階での実用的な検討を行う目的で使用されるケースが増加している．これは，都市域 NATM の地表沈下対策や，鏡ボルトや長尺先受け工を用いた切羽の安定性検討等，2 次元数値解析では表現の難しい 3 次元的な補助工法の効果の検証や各種工法を比較検討する必要性が増加してきたことによると考えられる．

表-1 トンネルに関する業務区分ごとの解析目的²⁾

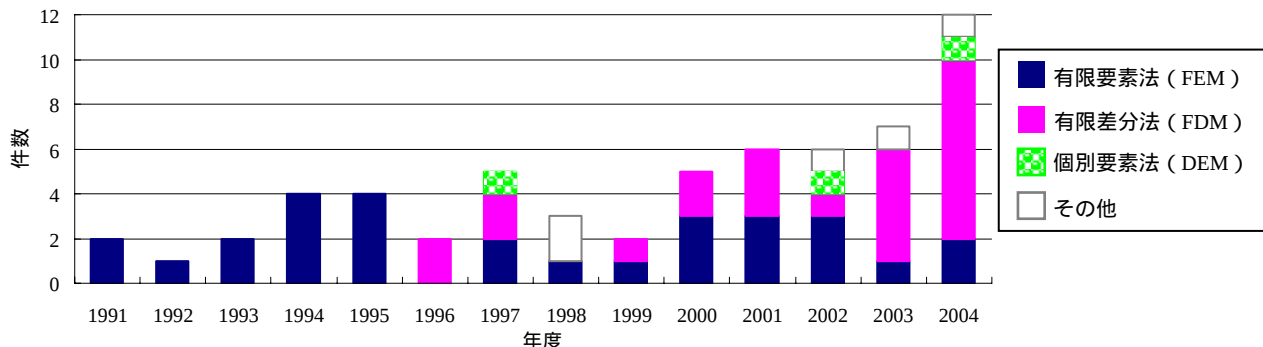
業務段階	適用目的
I．研究	・トンネル解析のモデル化の研究 ・支保構造の挙動特性、最適設計の研究 ・地山の挙動および安定性に関する研究
II．技術開発	・設計法が確立していない構造形式の解析的設計 ・新技術の成立法の照査
III．計画・設計	・施工法、構造の比較検討 ・特殊条件のトンネルの支保構造の設計 ・補助工法の比較検討と最適案の選定 ・近接構造物への影響予測
IV．施工	・計測データの解釈と設計への反映

キーワード 山岳トンネル，三次元数値解析

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝2丁目5番10号 (株)ケー・エフ・シー トンネル技術室 TEL：03-3798-8585

図-2 3次元数値解析の解析目的の経年変化²⁾(トンネル工学論文・報告集)

つぎに3次元数値解析において使用された解析手法の経年変化を図-3に示す。3次元数値解析は、1991～1995年までは全て有限要素法(FEM)による解析であったが、その後は有限差分法(FDM)による解析手法が増加し、最近ではおよそ半数以上を占めている。有限差分法(FDM)は塑性域の進展状況を把握する場合に有効で、主に鏡ボルトや長尺先受け工等の補助工法を用いた切羽安定性解析等に使用されている。また、連続体解析とは異なる個々の要素の乖離やすべりといった破壊を表現できるという特徴を持つ個別要素法(DEM)を用いた数値解析も行われている。しかし、他の連続体解析とは異なり直接地山定数などの入力値を与えることができないため、物性値の同定は研究段階であり、実施工と対比した例はなく、未だ3件程度しかない。

図-3 3次元数値解析の手法の経年変化²⁾(トンネル工学論文・報告集)

4. 今後の3次元数値解析のあり方

3次元数値解析の適用事例が増加している傾向を確認したが、その一方で与条件である地山の物性値や初期応力、施工方法等の適切な「モデル化」に課題を残している。複雑な地山条件における地質調査結果等を基にした地山物性値の入力値の決め方、吹付けコンクリート、ロックボルトの時間依存性、各支保部材の作用特性の考慮等、いまだに確立しているとは言えない面もある。これらは山岳トンネル支保の基本要素であり、今後の研究成果が待たれる。

このように基本的な入力上の検討課題も残されてはいるものの、3次元数値解析は設計・施工上の問題を他の手法では説明し難い場合に適用されることが多く、その必要性は増加傾向にある。一例を挙げると、切羽安定工の補助工法の設計では、実状に近い状態で線状補強材を考慮した3次元数値解析が行われ、その解析結果を施工時の計測値と対比しつつ日常管理を行った事例がある。その一方で、施工時に実施している計測値をフィードバックし数値解析による施工の再評価や、数値解析そのものの実用精度を高める工夫も行われている。今後3次元数値解析は、設計のみならず施工段階にも使用されるケースが増加してくると思われ、より精度の高い解析結果を、短期間で経済的に得られるようにする必要がある。

5. おわりに

本報告はジェオフロンテ研究会の「三次元解析WG」の活動成果によるものである。ここに、WGの皆様へ感謝申し上げる。今後は、前述の課題についてWGにて検討していく予定である。

参考文献

- 1) トンネル工学論文・報告集 第1～14巻 土木学会, vol.1～14, 1991～2004
- 2) 山岳トンネルにおける3次元解析の現状と課題 ジェオフロンテ研究会 pp1-144, 2004.11