

2 未固結含水地山のNATM技術

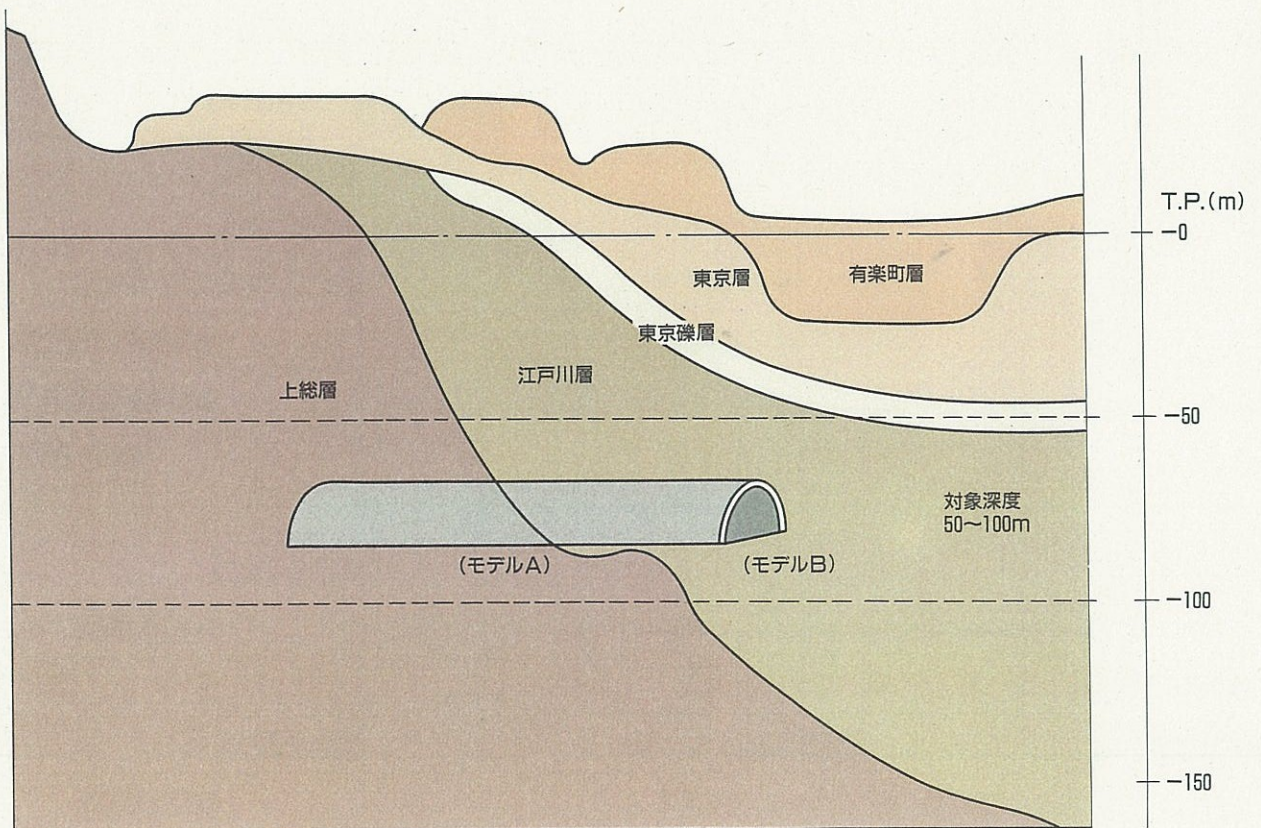
1) 地盤条件

研究対象としている都市域での深度50～100mにおけるモデル地盤を設定するために、各種土質調査結果を収集、分析しました。

対象深度では地質的には洪積層となりますが、そのなかでも固結程度により分類し、固結化がかなり進んでいるものをモデル地盤A、あまり進んでいないものをモデル地盤Bとしました。さらに、それぞれの地盤を粘性土・砂質土・砂礫の3つに分け、各々の物性値を設定しました。

モデル地盤

項目	記号	単位	モデルA			モデルB		
			粘性土	砂質土	砂礫	粘性土	砂質土	砂礫
N 値		—	50<	50<	50<	30<	50<	50<
湿潤密度	γ_t	gf/cm ³	1.85	1.9	2.0	1.75	1.9	2.0
一軸圧縮強度	q_u	kgf/cm ²	20	5	3	4	1	0.3
粘着力	C	kgf/cm ²	10	1	0.5	1	0.3	0.2
内部摩擦力	ϕ	deg	15	35	40	10	30	35
ヤング率	E_{50}	kgf/cm ²	3000	1000	1000	800	400	400
ポアソン比	ν	—	0.3	0.35	0.35	0.4	0.35	0.35
透水係数	k	cm/sec	1×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-3}	1×10^{-5}	1×10^{-4}	5×10^{-3}
側圧係数	K_0	—	0.5			0.5		



2)地下水対策のための補助工法

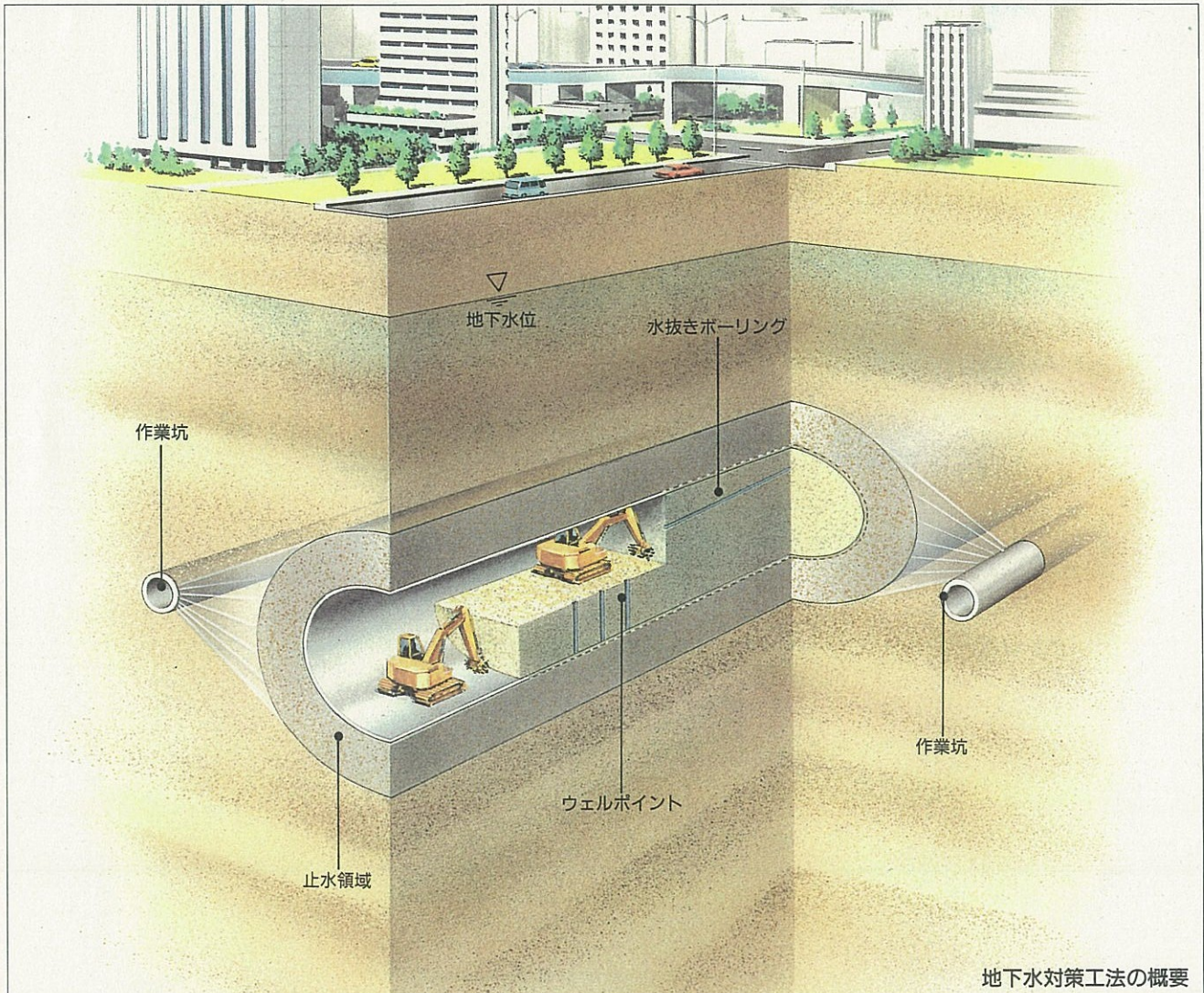
大深度未固結含水地山をNATMで掘削する場合に配慮すべき点としては、①湧水処理、②切羽の安定性の確保、③地表面沈下等の環境問題などがあげられます。この中でも湧水処理は特に重要です。

トンネル掘削のための湧水処理の方法としては、右に示すように、湧水を排除する方法(排水工法)と湧水を止める方法(止水工法)とに分類されます。

これらの地下水対策工法の選定にあたっては、地質条件および周辺環境条件を考慮する必要があります。特に、大深度未固結含水地山の掘削にあたっては、周辺の地盤・地下水に影響を与えないように、地下水位低下をできるだけ抑えるようにしなければなりません。

- 排水工法
 - 水抜き坑
 - 水抜きボーリング
 - ウェルポイント
 - ディープウェル (リチャージ工法)

- 止水工法
 - 薬液注入工法
 - 凍結工法 (圧気工法)



地下水対策工法の概要

3) 止水領域の浸透流解析

未固結含水地山におけるトンネル施工では、トンネル周辺部に薬液注入工法などによる止水領域を形成し、トンネル内への湧水量や周辺部の水頭低下量の低減を図ります。

この止水領域の厚さや透水係数などの仕様を決定するにあたり、トンネル周辺領域の浸透流解析を実施して、トンネル掘削の影響を把握します。

止水領域として次のような機能を有していることが望まれます。

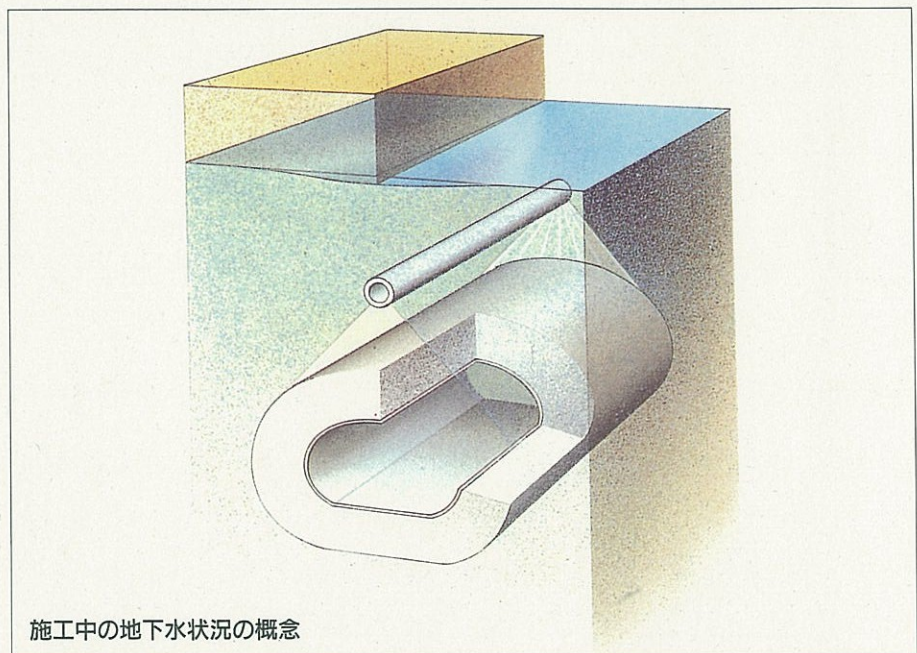
施工中

トンネル施工中の地下水流動を把握するためには、工事の進行がシミュレート可能な三次元的モデル化が必要です。

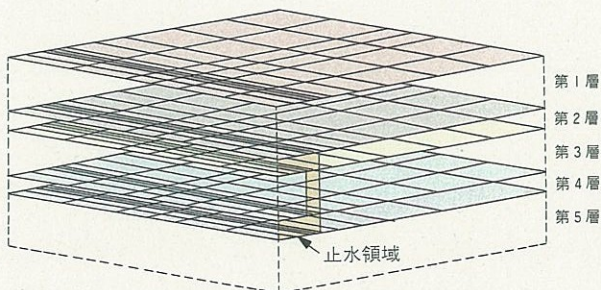
しかし、三次元解析では多大な計算時間、計算容量、労力および費用が必要であり数多くの解析を行うことは容易ではありません。

ここでは、解析領域を数枚の平面スライスに分割した擬似三次元解析により三次元のモデル化を行い計算の簡略化を図っています。

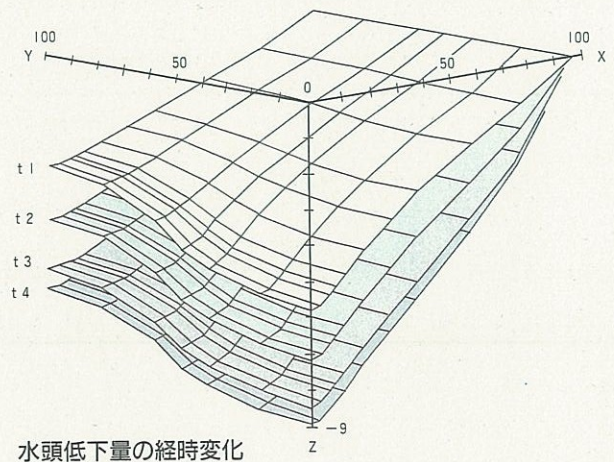
解析結果の一例として第1層地下水頭面の経時変化を示します。時々刻々と三次元的に変化していく微小な水頭状況が表現されています。



施工中の地下水状況の概念



擬似三次元解析モデル



水頭低下量の経時変化

① 施工中において……

切羽の安定性を保つと同時にトンネル内への湧水量を減じて作業性を確保します。

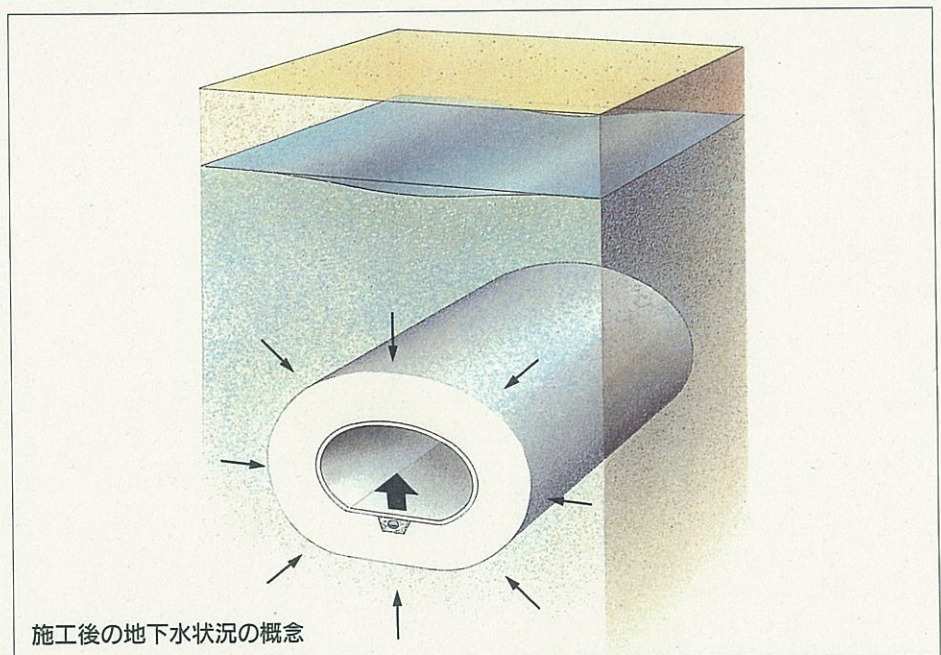
② 施工後において……

止水領域における水圧低減効果により覆工負担水圧およびトンネル内への湧水量を減じ
周辺水頭低下量を微少に抑えます。

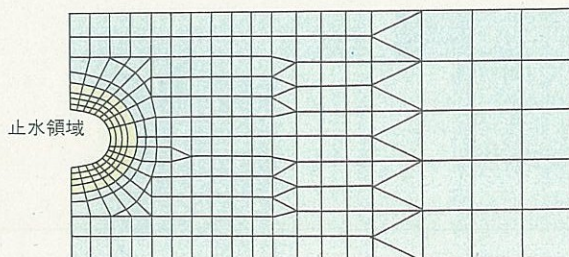
浸透流解析を実施することにより、これらの機能を確認します。

施工後

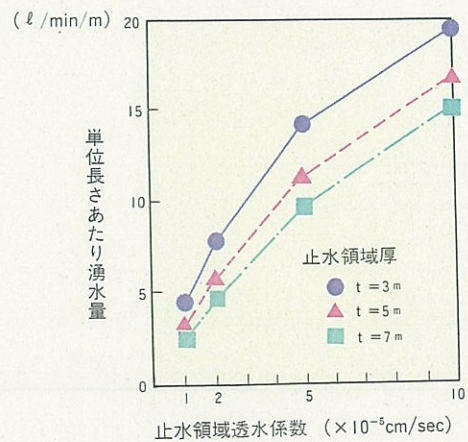
トンネル施工後、十分な時間が経過して定常状態に達したとみなされる時点での浸透流解析には、トンネル横断方向の鉛直二次元解析が有効です。



止水領域の厚さや透水係数を変えたときの湧水量変化が把握できます。湧水量の減少に応じて水頭低下量も微少なものとなります。



二次元解析モデル



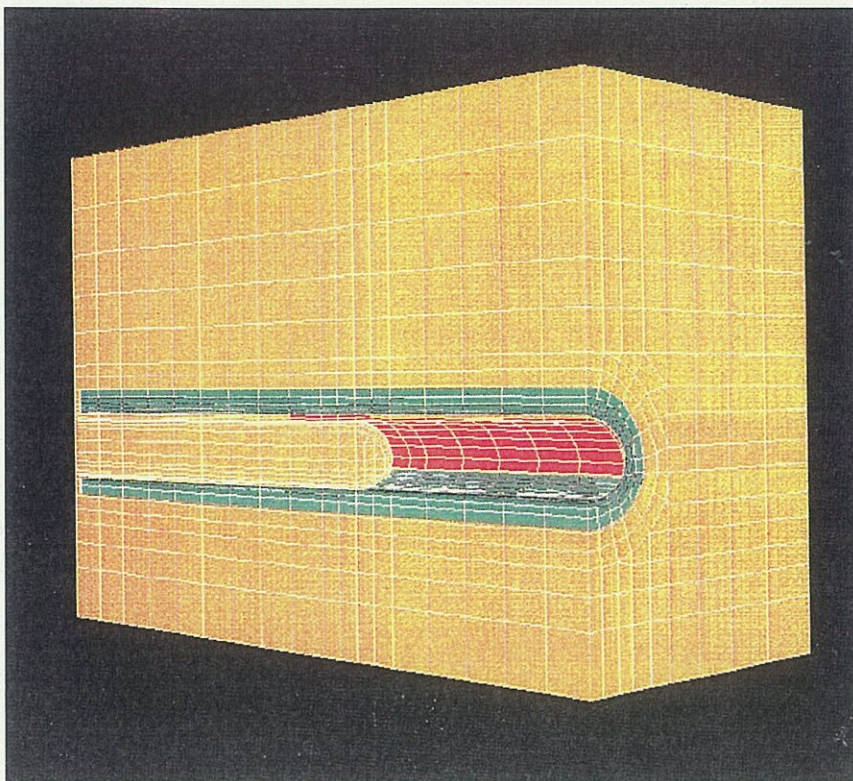
止水領域による湧水量の変化

4) 強度増加領域の応力変形解析

都市部の未固結含水地山にトンネルを建設する場合、地表面沈下の抑制、切羽天端の安定性向上、地下水の適切な処理などを目的として、トンネル縦断進行方向に予め地山を人工的に改良または補強することが考えられます。

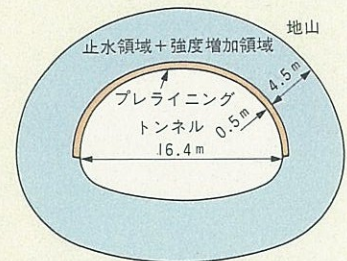
本研究では、地下水の侵入を抑える止水領域、トンネル掘削外周に地山の強度を増大させる強度増加領域、さらに、切羽天端の安定性を向上させ、より安全な切羽掘削作業を可能にするプレライニングが提案されています。これら領域のう

ち、強度増加領域の一部でもあるプレライニングの応力変形挙動を把握することを主目的として、最新の解析技術を用いた三次元解析を行いました。プレライニングの応力変形特性をよりの確に知るためには、切羽近傍の挙動が三次元的であることを考慮して三次元解析を行うことが望ましく、本解析の実施により貴重な設計・施工データが得られました。今後、数値解析的にプレライニングを含むトンネル設計・施工技術の向上を目指して研究を進めていく予定です。



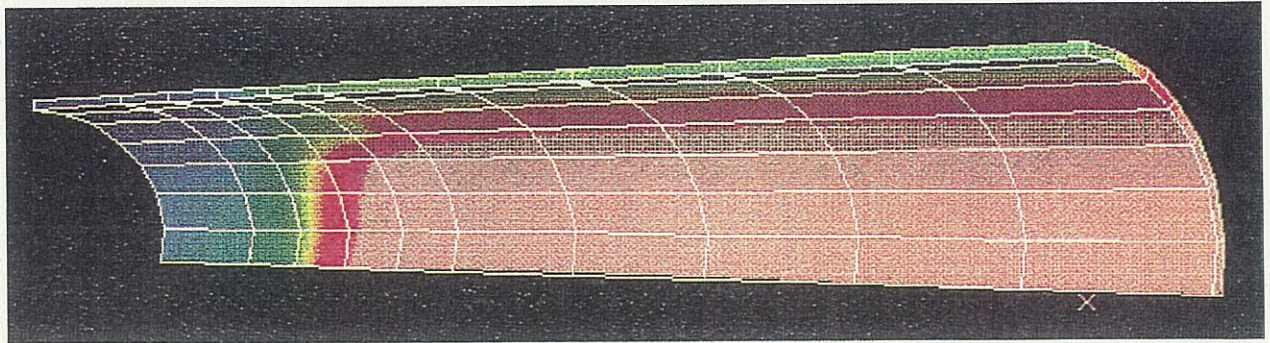
解析モデル

(赤い部分がプレライニング、青い部分が止水領域と強度増加領域)

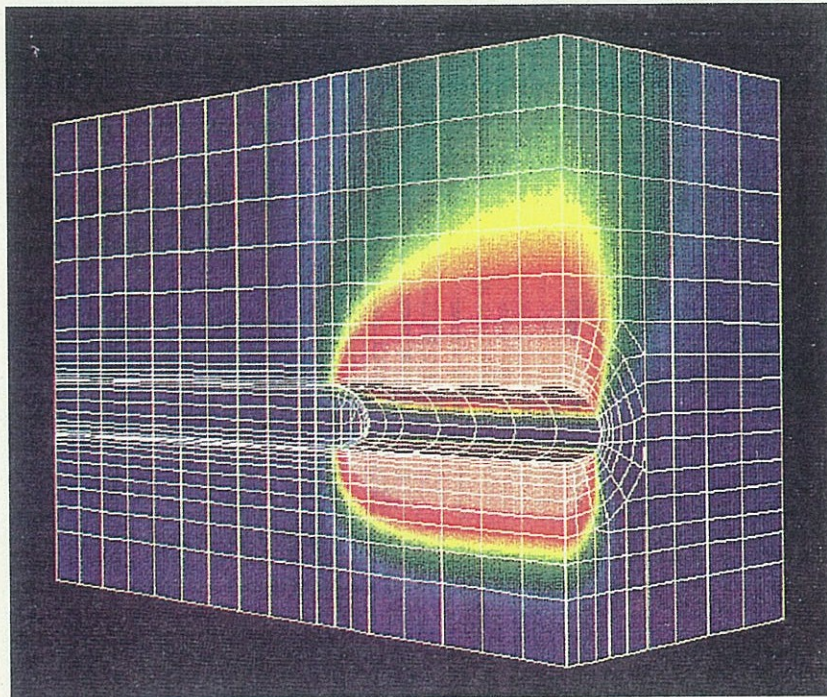


入力物性値

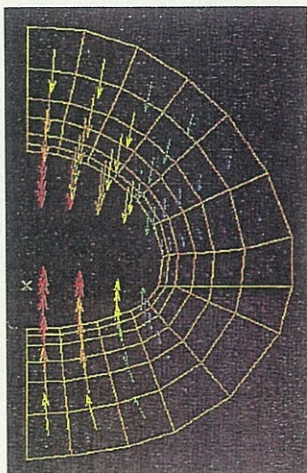
項目	地山	止水領域 強度増加領域	プレライニング
湿潤密度 γ_i (gf/cm ³)	1.9	1.9	1.9
ヤング率 E_{50} (kgf/cm ²)	400	800	3150
ポアソン比 ν	0.35	0.35	0.35
粘着力 C (kgf/cm ²)	0.3	0.5	8.7
内部摩擦角 ϕ (deg)	30	30	30
側圧係数 K_0		0.5	



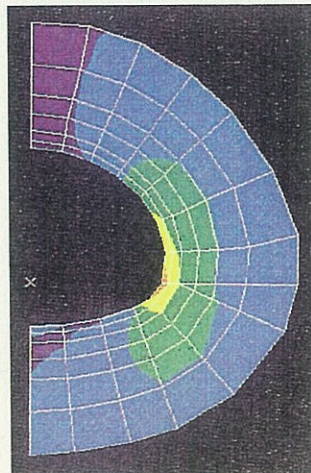
プレライニングのせん断応力分布



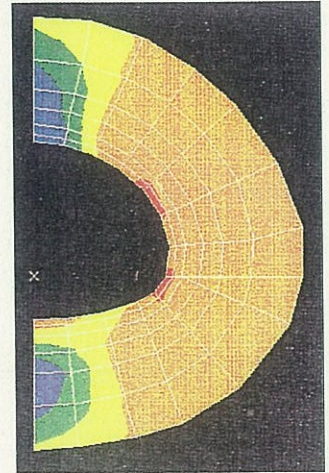
変位図



変位ベクトル



地山最大せん断応力



局所安全率