

**論文番号** I-1

**題名** 山岳トンネルの地震時挙動に関する動的計測結果に基づく一考察

**発表者** 日下敦（土木研究所）

### **討議 1 計測された地震時挙動の位相差の影響について**

質問者：周辺地山と坑内で同じ挙動をしているとの発表であったが、加速度の波形だけではなく位相差も比較しないと同一挙動とは言えないのではないか。

発表者：加速度のピーク時刻の差が 0.02 秒程度となるものもあったが、計測のサンプリング間隔が 0.01 秒でありこと等から、位相差に関する詳細な分析には至っていない。

質問者：トンネル周辺の地山のひずみを直接測るという方法は考えられないのか。

発表者：地山のひずみを直接計測するのは難しいと考えている。地山のせん断ひずみ量を推定する方法として、地山のせん断波速度と地震による振動速度の比により算定することはできるが、計測で得られた覆工の挙動を説明できるような結果には至っていない。

### **討議 2 地震時の覆工コンクリートの残留ひずみについて**

質問者：覆工のひずみは地震後に元に戻るのか、それとも残留ひずみが発生するのか。残留ひずみが発生する場合、蓄積されると破壊に至ると考えられないか。

発表者：サンファントンネルにおいて大規模な地震により  $5\mu$  程度の残留ひずみが観測された事例があった。値自体は小さいので覆工の構造耐力の観点からは今のところ問題ないレベルと考えているが、将来影響を与える可能性もあるので、今後も検討していきたい。

### **討議 3 地表面とトンネル周辺の地質の違いによる計測値へ影響について**

質問者：坑内の加速度と地表面の加速度を比較しているが、地表の加速度計測点（K-NET）と、坑内の加速度の計測点では地盤条件が異なるのではないか。

発表者：K-NET の観測地点では地盤の弾性波速度が公開されており、トンネル周辺地山の弾性波速度と比較すると軟質な地盤であることが分かっている。このような地盤条件の違いに加え、トンネルと K-NET の観測地点の離隔も 10km 程度あることから、地表面と坑内の加速度を直接的に比較するのは限界があると考えている。

**論文番号** I-2

**題名** 覆工コンクリート初期ひび割れ予測のための温度解析に関する考察

**発表者** 中村明彦（株式会社テムロ）

### 討議 1 断熱温度上昇特性および熱伝達率の設定について

質問者：同定された結果では、終局断熱温度上昇量  $Q_{\infty}$  が  $10^{\circ}\text{C}$  程度下がっており、熱伝達率も 2~3 といった小さな値になっている。断熱温度上昇特性はあくまでも断熱状態のコンクリートの特性であり、使用するコンクリートと打込み温度によって決まる値ではないか。

発表者：ご指摘のように断熱温度上昇特性は、使用するセメントと単位セメント量、打込み温度によって決まる値です。一般的なマスコンクリートの温度解析では、この断熱温度上昇曲線の傾きが発熱率として使われております。言い換えれば、コンクリートの全断面において、断熱状態と同じ水和発熱が起こっていると仮定して解析が行われております。通常のマスコングリートであれば、表面付近は断熱状態ではありませんが、多くの断面が断熱状態となっているので断熱状態と同じ水和発熱が起こっていると仮定しても間違いではありません。しかしながら、部材厚の薄い覆工コンクリートでは、ほとんどの断面が断熱状態ではないため、全断面で断熱状態と同じ水和発熱が起こっていると仮定するのは無理があります。水和反応は化学反応であり、温度の影響を受けるため、本来であれば温度履歴を考慮した水和発熱モデルが望ましいと考えます。温度履歴を考慮した水和発熱モデルとして、東京大学の岸先生らは「複合水和発熱モデル」を提案しております。このモデルでは、セメントの鉱物組成が必要であり、計算の時間ステップも細かくする必要があります。一般的に使うには難しい面があります。そのため、本研究では、断熱温度上昇特性値 ( $Q_{\infty}$ ,  $\gamma$ ) を低減することによって、覆工コンクリートが断熱状態でないことによる水和発熱を簡易的に扱うことを提案しています。

### 討議 2 温度計測結果について

質問者：トンネル坑内のコンクリートの温度計測結果を見ると、天端部のコンクリート温度は、天端坑内外気温に収束しているが、側壁部のコンクリート温度は、側壁坑内温度に収束していない。こういった理由で差が出ているのか。

発表者：自分たちで計測したデータではないので、推測でしか答えられませんが、坑内の温度は測定する位置によって温度差があり、一般的には上の方が温度が高いです。そのため、坑内温度の計測位置が実際より少し低かった可能性などが理由として考えられます。

**論文番号** I-3

**題名** フルウェーブインバージョンによるトンネルトモグラフィの数値実験

**発表者** 桑原徹（株式会社大林組 技術研究所）

※運営側の録音ミスのため、討議の掲載はございません。

**論文番号** 論文I-4

**題名** マルチスケール二次微分カーネルを用いた写真画像によるコンクリート表面のひび割れ幅測定

**発表者** 鎰谷 賢治, 株式会社リコー研究開発本部 リコーICT 研究所フォトニクス研究センター

### 討議 1 撮影について

質問者: 三脚を使って撮影したとのことだが, どの程度のスペースが必要か.

発表者: トンネル壁面からおよそ 50 cm 程度必要である.

質問者: 現場での画像の確認はどのようにしたのか.

発表者: 使用したデジタル一眼レフカメラはビューワーだけ回転できるので, これを回転して, 横から見えるようにして撮影画像の確認を行った.

### 討議 2 ひび割れの幅の定義について

質問者: ひび割れの幅をどのように定義して測定を行ったか.

発表者: 本研究ではコンクリート壁面でのひび割れのエッジとエッジの間の距離とした.

質問者: ひび割れの幅を測定する際の長さはどのように定義したか.

発表者: プレゼンテーションで示した例だと 23 mm だったが, 測定者が自分で測定領域の大きさを変えられるようにしているので特に決めていない.

質問者: ひび割れの幅を測定する際の幅と測定長を標準化するような活動が必要と思っている.

発表者: 全く同意である. その節は是非協力したい.

### 討議 3 ひび割れを測定する方向と長さについて

質問者: ひび割れの幅を測定するにはひび割れの方向の検出が重要と思うが, 方向の検出アルゴリズムについて説明して欲しい.

発表者: 方向検出カーネルにて検出された画素の直線回帰で決定した.

質問者: 測定箇所が変わると方向も変わると思うがどうか.

発表者: 測定者が指定する測定領域によって方向は変わる.

質問者: さらにマクロで測定すると, ひび割れの方向はある曲線に沿うと思うので, そういう曲線を考慮して測定すると, もう精度を高くできると思う.

発表者: 大変貴重なご意見と思われるため, 今後の参考にしたい.

質問者: ひび割れ幅を定義するためのひび割れの長さについてはどのように考えているか.

発表者: 我々も決めかねている. 今回は, 仕方なく測定者が測定領域を決める方式にした.

**論文番号** II-1

**題名** 大深度、高水圧下におけるシールド曲線部施工時荷重を考慮したセグメントの設計手法の検証と提案

**発表者** 杉山純（日本下水道事業団）

### **討議 1 3リング解析における荷重の思想について**

質問者：(3リング) 梁ばねモデルによる解析について伺う。セグメントの1リング目は、シールドマシンの中にある状態だと考えるが、今回、そうした状況にもかかわらず、1リング目へも水圧を作用させて解析を行っている。安全側であると考えているが、その思想について伺う。

発表者：テールブラシからの1リング目への水の浸入も可能性としてはあることから、水圧を1リング目に作用させた。安全側か危険側かということではなくセグメントにかかる実施工時の荷重に着目し、1リング目に水圧を作用させて解析を行なったものである。1リング目はテールグリース圧によりトンネル内部への漏水を防ぐことを意図しているが、実施工では裏込め注入材などの影響により、テールブラシが固化、劣化し、止水機能が低下する状態も見られる。また、テールグリース圧についても水圧に抵抗するための圧力を常時かけている状況にある。このような実施工時における状況を考慮し、1リング目のセグメントへも水圧を作用させることが適切と判断した。

### **討議 2 設計手法の妥当性の確認について**

質問者：本検証により、(3リング) 梁ばねモデルによる解析は妥当であったとの説明があったが、その根拠として施工時においてセグメントの計測を行い、その結果妥当であったということか補足いただきたい。

発表者：設計時の想定外力と施工時の外力において3リングにおけるモーメント図、せん断力図など比較し、許容応力度内であることを確認したことから妥当であると提案した。テールグリース圧については、測定機器が開発されていなかった関係で、テールブラシ間のテールシール室部においてテールグリース圧を直接的に測定することは困難であった。(実施されていなかった。)このため、これまでは、シールドマシン本体後方の後方台車に設置されたテールシール給脂装置部の元圧計により、数十メートル程度離れたテールシール室部のテールグリース圧を推計していた。本工事では、シールドマシン本体部のテールブラシ部付近に圧力計を設置するとともに、同圧力計から、A、B、Cの各テールシール室(論文中：図-13)へ給脂するパイプの圧力損失についても、ほぼ1/1スケールのモデルにより複数回の加圧模擬試験を行い、圧力損失の数式を設定することで、施工時のテールグリース圧をより直接的、適切に確認することができた。このことにより、本設計手法におけるテールシール圧の荷重条件についても妥当であることを確認した。また、設計時の想定外力と、施工時に測定した外力においてモーメント、せん断力などを比較、確認し、3リングばり梁モデルによる解析は妥当であると判断した。

### **討議3 シールドマシンの解体時のテールブラシの状況及び、テールシール室への裏込め材の浸入の有無の確認について**

質問者：カーブ区間で損傷が起きるのは、裏込め材がテールブラシからテールシール室部に入り込んだ状態で掘進することによると考えられるが、今回テールグリース圧を詳細に調査されているなかで、シールド解体後にテールクリアランス室に裏込め材が浸入していたかを現場で確認できたのか伺う。

発表者：確かに掘進後のテールシール室内の状況やテールブラシの状況を観察することにより、テールブラシの止水機能が適切であったかどうかを判断することが出来る。現在、シールドマシンは到達立坑に到達した状況であり、今後シールドマシンを解体する際に、テールシール室の状況、ブラシの劣化状況についても調査を行っていく考えである。