

## シールド発進に伴う仮壁撤去工事への動的破碎工法の適用について(その2)

## 一解析による安全性の検討一

東京湾横断道路(株) 山田 憲夫  
 鹿島東京湾横断道路出張所 正会員 ○碓氷 和夫  
 鹿島情報システム部 石田 雅利  
 鹿島情報システム部 横山 和人

## 1. はじめに

(その2)では、前報で紹介した工事の安全性を確認するために行なった解析による検討の概要を報告する。この目的は、本工事に動的破碎工法を適用した場合、止水のために設けた凍土が損傷しないことを確認することにある。

まず、既往の研究をもとに装薬孔内の爆圧の評価を行い、有限要素法による衝撃解析コード DYNA3D<sup>1)</sup>を用いて発破による応答解析を行う。そして得られたひずみを指標として連壁および凍土の損傷状態を評価する。また、解析で得られた加速度と連壁および凍土の損傷状況から試験発破で得られる計測加速度を推定し、安全性管理の指標とする。

## 2. 装薬孔内に生じる爆圧の評価

解析で用いる爆圧は文献2の方法に準じて評価した。中山ら<sup>2)</sup>は、円柱型のエマルジョン爆薬を対象として、水中衝撃波の圧力伝播を爆発生成気体の状態式であるJWL式を用い、準理論式である改良木原・疋田式(KHT)から同定されたパラメータを設定して解析した。

同様の方法で、爆薬として用いるアーバナイトのJWLパラメータを同定し(表1)、装薬孔内部に発生する爆圧を解析した。爆薬中心に点火したときの、爆薬周辺の圧力時刻歴を図1に示す。約5 $\mu$ secで最大値80000kg/cm<sup>2</sup>に達した。

解析で用いる圧力波形を図2に示す。得られた圧力を簡略化し、衝撃圧成分を爆薬が装薬されている周辺に与え、100 $\mu$ secまでは最大値が発生して10 $\mu$ sec後の圧力の1/10(600kg/cm<sup>2</sup>)を与え、その後250 $\mu$ secで圧力ゼロとなるガス圧を装薬孔の全面に作用させることとした。

## 3. 仮壁の衝撃解析

## 3.1 解析モデル

解析対象領域を図3に示す。周辺の境界面には、波が反射しないように粘性境界を導入した。表2に解析で用いた物性を示す。コンクリートの物性は連壁から抜き取ったコアの圧縮強度を基に推定した値<sup>3)</sup>を、凍土の物性は設計基準に基づいた値を採用した。コンクリートと凍土の破壊基準はDrucker-Prager則を、鉄筋の破壊基準はvon-Mises則を用いた。なお、コンクリートに関しては、ひずみ速度依存性<sup>4)</sup>を考慮し、圧縮および引張強度を割り増した値を用いた。

また、連壁残存部と凍土の境界面には接触境界を導入し、引張あ

表1 JWL状態方程式および同定された爆薬のパラメータ

|                      |                                                                                                                                                   |                                     |                |       |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------|
| 状態方程式                | $P = A \left( 1 - \frac{\omega \eta}{R_1} \right) e^{-R_1/\eta} + B \left( 1 - \frac{\omega \eta}{R_2} \right) e^{-R_2/\eta} + \omega \rho_0 E_0$ |                                     |                |       |
|                      | P: 圧力, $\eta$ : $\rho/\rho_0$ , $\rho_0$ : 初期密度                                                                                                   |                                     |                |       |
| 爆薬のパラメータ<br>(アーバナイト) | A                                                                                                                                                 | $6.72 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ | R <sub>1</sub> | 5.743 |
|                      | B                                                                                                                                                 | $1.36 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ | R <sub>2</sub> | 1.498 |
|                      | E <sub>0</sub>                                                                                                                                    | $4.97 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ | $\omega$       | 0.352 |

表2 解析で用いた物性

| 材質       | 物性    | 値                          |
|----------|-------|----------------------------|
| コンクリート物性 | 圧縮強度  | 1000 kgf/cm <sup>2</sup>   |
|          | 引張強度  | 53.4 kgf/cm <sup>2</sup>   |
|          | ヤング係数 | 390000 kgf/cm <sup>2</sup> |
|          | ポアソン比 | 0.20                       |
|          | 密度    | 2.40                       |
| 凍土の物性    | 圧縮強度  | 100 kgf/cm <sup>2</sup>    |
|          | 引張強度  | 22.5 kgf/cm <sup>2</sup>   |
|          | ヤング係数 | 4000 kgf/cm <sup>2</sup>   |
|          | ポアソン比 | 0.45                       |
|          | 密度    | 1.65                       |
| 鉄筋の物性    | 降伏点   | 5000 kgf/cm <sup>2</sup>   |
|          | ヤング係数 | 210000 kgf/cm <sup>2</sup> |
|          | ポアソン比 | 0.30                       |
|          | 密度    | 7.90                       |

注) コンクリートの物性は、コア圧縮試験の結果をもとに文献3  
 験式から評価し、凍土の物性は設計式から評価した

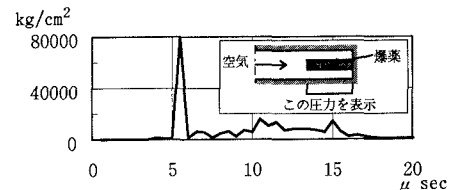


図1 装薬孔内の解析による衝撃圧時

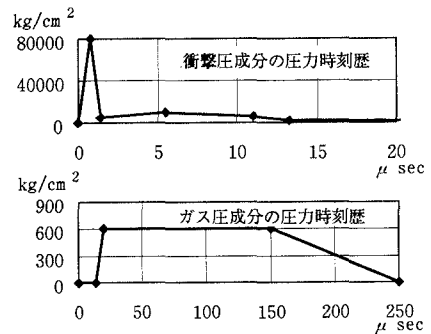


図2 簡略化した爆発による圧力

るいはせん断応力が凍着強度に達すると応力が解放されるものと  
し、凍土の背後からの水圧は、凍着部の引張軸方向強度に水圧分  
（6kg/cm<sup>2</sup>）を付加することで考慮することとした。

### 3. 2解析結果および破碎領域の評価

コンクリートと凍土の装薬孔背後における加速度およびひずみ  
時刻歴を図4に示す。コンクリートおよび凍土の最大加速度はそ  
れぞれ2800Gと600Gであり、ひずみの最大値はそれぞれ0.014%  
と0.14%であった。

また、コンクリート及び凍土の損傷領域を評価するにあたり、  
内部にひび割れが生じ始める引張ひずみ（動的ひび割れひずみ）  
と、ひび割れが貫通し剥離破壊を生じるひずみ（ひび割れ破壊ひ  
ずみ）を次のように仮定し、破壊が終了して十分時間が経ったと  
考えられる時刻 3000  $\mu$  sec において、それぞれの値に対するひ  
ずみの割合をコンター図で図5に示す。

#### コンクリート

|           |        |
|-----------|--------|
| 動的ひび割れひずみ | 0.026% |
| ひび割れ破壊ひずみ | 0.2%   |

#### 凍土

|           |       |
|-----------|-------|
| 動的ひび割れひずみ | 0.25% |
| ひび割れ破壊ひずみ | 0.5%  |

これらの結果から、爆発の衝撃によりひび割れ破壊に至る領域  
は計画どおり開口部側にのみ広がっており、自由面のない方向に  
は損傷が広がらないことが解った。このとき、連壁の残存部で生  
じる加速度は装薬孔背後で約 2800G 程度であることが予測され  
た。また、連壁背後の凍土ではほぼ弾性範囲内の挙動に納まって  
おり、ほとんど損傷を受けないことが予測された。

### 4. まとめ

本解析により、動的破碎工法の安全性を検討した結果、今回  
検討した装薬設計に従うことにより、ほぼ計画どおりに仮壁を  
撤去することが可能であり、背面凍土の健全性を維持したまま  
工事を進めることができることが解った。

なお本検討は、横浜国立大学の小川輝繁教授の指導のもとに  
東京湾横断道路川崎人工島のシールド搬入口の仮壁撤去工事に  
先立って行われたものである。

#### 【参考文献】

- 1) Hallquist, J.O. "Theoretical Manual for DYNA3D", University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Rept. UCID-19401(1982).
- 2) 中山良男他：細長比の大きいエマルジョン爆薬による水中爆発の数値解析，衝撃波シンポジウム，講演論文集，pp.405-410，平成2年。
- 3) 友澤史紀他：高強度・超高強度コンクリートの基礎的力学特性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.497-498，1990年10月。
- 4) 山口弘他：鉄筋コンクリート版の衝撃応答に及ぼすひずみ速度効果，日本建築学会構造系論文報告集，第406号 pp.25-35，1989年12月。

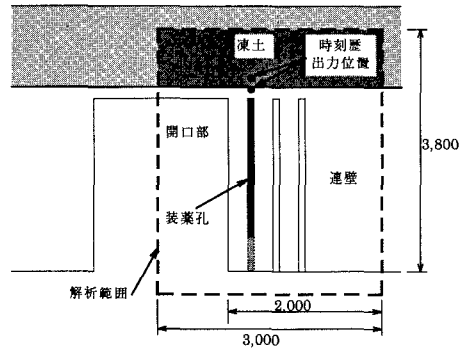


図3 解析対象領域（水平断面図）

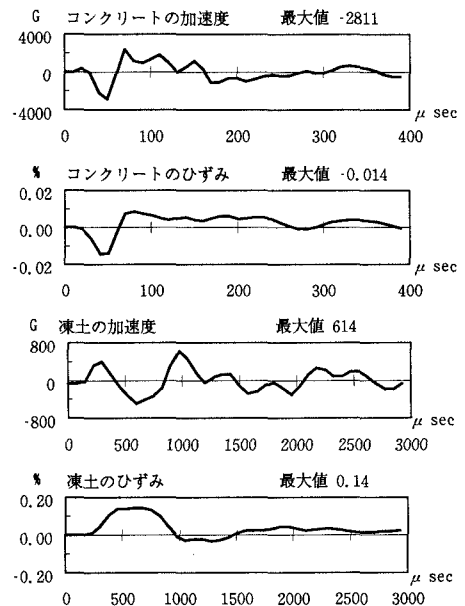


図4 装薬孔背後の加速度およびひずみ時刻歴

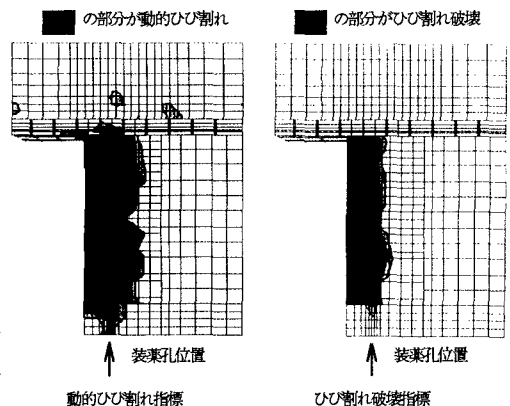


図5 損傷領域評価図