

(株) 間組 技術研究所 正員 北村 孝海
 (株) 間組 技術研究所 正員 小林 晃
 (株) 間組 技術研究所 正員 向上 拡美

1 はじめに

原子力発電所をはじめとする発・変電施設、石油・エネルギー貯蔵施設、廃棄物関連の処分施設などは、今後、岩盤地下に立地する可能性が高い。これらの建設にはきわめて大量の岩掘削、すなわち発破を必要とするが、複雑な地下構造物を設け、然るべき耐力・耐震・耐水性能を保ちながら経済性の要件を満たすためには、洗練された岩掘削の体系化が必要となるであろう。その際の主なねらいは急速施工と近接施工に大別され、近接施工すなわち近接発破では対象構造物や対象岩盤の破壊確率を用いた安全性指標が用いられるものと想像される。本文では、ある近接発破を事例としてとりあげ、近接発破時の対象構造物の挙動と発破の関係を半経験的にとらえ、この関係を介して信頼性理論の初歩的な考え方を取り入れた管理方法とその結果について述べる。

2 近接発破の状況と基本的な考え方

図-1に近接発破の状況を示す。対象構造物は道路トンネルで最近接距離は5mである。図-2は既往の事例から求めた振動速度の上限管理値である。事例の多くは管理値の決定方法、安全率の根拠に不明確さを残しており、管理も応力でなく振動速度の、しかも最大値管理に留まる。

いま構造物の状態を応力でとらえ、破壊基準 Z を次のように考える。

$$Z = g(\sigma_p, \sigma_v) \quad \cdots (1) \quad \text{ここに } \sigma_p \text{ は覆工の引張強度の、} \sigma_v \text{ は}$$

発破によって生じる引張応力の確率変数であり、 σ_v は式(2)による。

$$\sigma_v = n \rho c v \quad \cdots (2) \quad \text{ここに } n \text{ は応力集中係数、} \rho \text{ は密度}$$

c は縦波速度、 v は覆工面による反射の影響のない位置で測った振動速度の確率変数で互いに独立であるものとする。以上の確率変数が正規分布であれば覆工の破壊基準が簡単に求められ、種々の安全性指標を介して管理基準が定められる。図-3にフローを示した。

3 覆工の挙動と発破の関係

測定方法を表-1、波形・スペクトルを図-4、振動速度の減衰則を図-5、覆工各点の n を図-6に示す。図-7は管理点①、②の n 分布を描いたものである。図-8はひずみ・振動速度の展開分布図である。

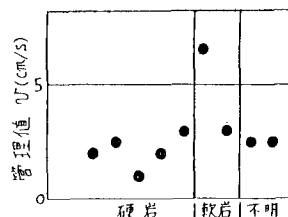
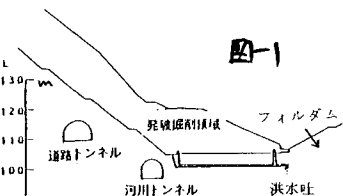
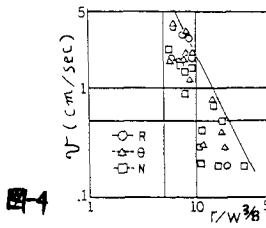
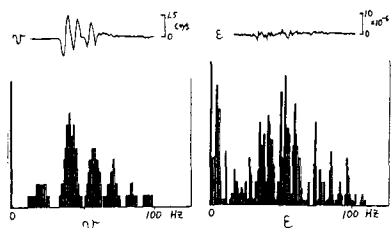


図-2

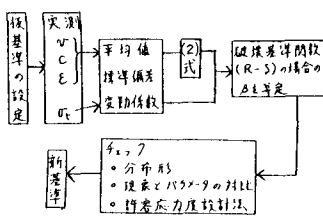
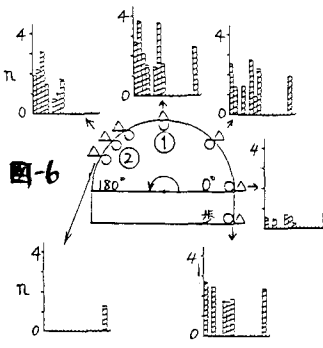


図-3

表-1

測定項目	測定方法
振動速度	圧電型加速度計
動ひずみ(応力)	コンクリート用ひずみゲージ
クラック	ルゲージ、クラックゲージ
コンクリート強度	シュミットハンマー



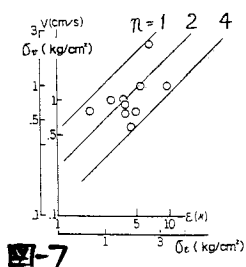


図-7

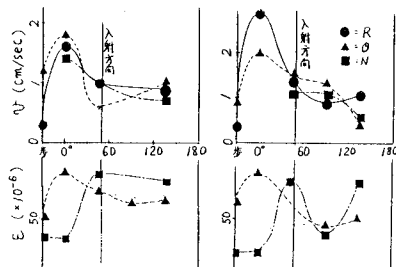


図-8

表-2

項目	平均値	標準偏差
複合コンクリート引張強度 (kg/cm²)	28.4	3.89
振動速度 (cm/sec)	1.27	0.88
応力集中係数	2.35	0.89
弾性波速度 (cm/sec)	2.3×10^5	4.3×10^4
複合コンクリート密度 (kg·sec²/cm³) (仮定)	2.45×10^4	—

表-3

	許容応力度設計法		破壊基準関数
	超過確率 5%	超過確率 10%	も用いる方法 R-S
仮基準	$\nu = 3.74$	$\nu = 6.56$	$\beta = 6.32$
新基準	$\nu = 2.96$	$\nu = 3.38$	$\beta = 5.51$
目安値	$\nu = 3 \sim 3.5$ (コンクリート)		$\beta = 3 \sim 4$ (通常の設計)

衝撃を受ける空洞壁面のひずみ・振動速度の分布については伊藤ら²⁾、桜井らの研究がある。図-8とこれらを比べると、ひずみのピーク出現位置は爆源からの接点にはほぼ一致し、振動速度のピーク位置は前者が爆源正面であるのに対して後者では入射角に拘らず天端、今回は入射角によらず側壁に出現している。ひずみと振動速度が同位置でピークを示さない点は3者とも一致している。これら3者の違いは空洞の受けるエネルギーの大きさと経路による違いと考えられ、前2者はいずれも薬量が小さいと仮定しているかもしくは小さいのに対して、本事例の場合は空洞が剛体運動でなく1次以上の振動応答を示している可能性がある。

4 発破管理基準の設定と管理

表-2, 3より安全性指標 β および確率変数の分布を考慮した現行安全率 ν について検討し、安全側となる後者をもとに新基準を設定した。新基準は $\nu = 3$ (中央安全率 $\nu_0 = 5.6$)、 $\beta = 5.5$ 、破壊確率 $P_f = 1.9 \times 10^6$ となった。管理は n , ρ , c , σ_v の結合確率変数 ν によったが、念のためひずみと既に発生しているクラックの幅の拡大・先端の進展も計測した。管理結果を図-10に示す。同図のひずみと振動速度は、入射角だけでなく入射の経路とトンネルの応答モードによる違いも示している。管理限界 (平均値 $\pm 3\sigma$) を超えた異常値はこれを確定値として求めた破壊確率で最大 1.4×10^5 と十分に小さい。またクラックの幅の拡大・先端の進展も見られなかった。以上のことから新基準もまだ余裕があるものと解される。

5 今後の課題と問題点

安全性指標や許容破壊確率の選定に関する研究は信頼性理論の分野で広く進められているが安全性に絡む諸要因データを提供すべき分野にはかなり遅れがあるように思われる。

例えば安全監視の位置・方法などは設計や施工の段階で検討の余地がある他、監視用センサなどは若干の予算で予め構造物に取付けておくことが可能である。一方、構造物の挙動を式(1)の形に集約することについても検討の余地がある。本事例では、振動応答応力 (ねじれを含む) を加える、振動の伝達経路を考慮することがそれにあたる。また発破技術の改善による効果もパラメータの1つとして積極的に加えて行く必要がある。こうした方法により、確率変数の分布が容易にわかり、かつ破壊基準のパラメータが実際の現象を示しうる程度に増やすことができれば、許容応力度設計法を脱して破壊確率に基いた管理が可能となるものと思われる。

〔参考文献〕 1) 尾坂・高岡・星谷：新体系土木工学12・土木構造設計法 技報堂 1981.

2) 伊藤一郎・佐々宏一：第2回岩の力学講演会, 1973, pp.45~62

3) 桜井春輔・北村泰寿・吉田耕造：第10回岩盤力学に関するシンポジウム, 1976, pp.41~44

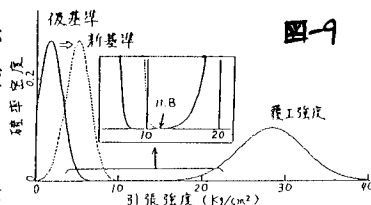


図-9

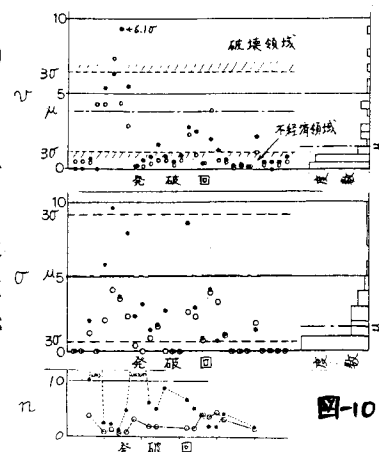


図-10