

# 研究成果報告書

2017年12月22日

土木学会

岩盤力学委員

岩盤動力学に関する研究小委員会

## まえがき

岩盤力学および岩盤工学の分野においては、主に静的現象を取り扱うことが多いものの、最近では、地震、発破、岩盤構造物の崩壊、掘削、衝撃や山はねといった動的な取り扱いを必要とするテーマも着目されるようになってきています。

近年、地震工学的な立場から岩石・不連続面の変形過程・破壊時の多重パラメータ応答の確認など、地震動の特性・特徴を明確にするための基礎的な研究が行われています。その一方、地震動と地震断層の強制変位場を受ける地上・地下岩盤構造物の動的挙動と、その動的安定性に関しても基礎的な研究が進められてきています。また、地震動に限らず、掘削に伴う発破振動が周辺岩盤と構造物に与える影響についても様々な研究が行われてきています。

このような背景のもと、岩盤力学と岩盤工学の分野においても、地震とその岩盤構造物に与える影響について動的問題に取り組むことが喫緊の課題となっています。

International Society for Rock Mechanics (ISRM: 岩盤力学に関する国際会議)は、2008年(委員長: Yingxin Zhou)に岩盤動力学委員会を設立し、日本から藍檀がこの委員会の委員に招待され、2009年にLausanneにあるスイス工科大学で「岩盤動力学に関する国際ワークショップ」が開催されました。その成果は「Advances in Rock Dynamics and Applications」の本にまとめられ、2011年にCRC Pressより出版されています。この本の内容は、衝撃試験、岩盤内の波動伝達、岩盤構造物破壊について既存の数値解析手法とその適用、発破掘削とその振動、動的荷重下における支保部材の動的応答に関する実験および地震と、それによる岩盤構造物の被害などを含んでいます。

本小委員会は、平成25年6月に設立され、岩盤力学を中心として地震工学などの分野における知見も併せて、現状とその問題点、解決すべき課題を明らかにし、その解決に向けた道筋を立てることを目指すこととしました。具体的な活動内容を下記のように設定しました。

- 1) 室内試験における岩石・不連続面・破碎帯の変形・破壊過程中的動的応答について既存の研究成果の整理と今後課題と試験法の確立
- 2) 断層運動による各種岩盤構造物の被害事例の収集と分析
- 3) 地震以外の振動源(発破、爆発)による構造物の被害事例の分析
- 4) 岩盤と岩盤構造物の動的挙動を評価できる解析手法とその妥当性の検証
- 5) 自然岩盤構造物を含め、岩盤動力学の基礎とその適用法の確立に向けてガイドラインの設立

第3項目を除いて、上記の目的に果たすため、小委員会内で4つのワーキング・グループ(岩盤動的物性値WG、地震動WG、岩盤構造物WG、数値解析WG)を形成し、平成25年10月から平成28年6月(1年延長)まで活動しました。各WGの活動内容は下記の通りです。

- 1) 岩盤動的物性値WGは、岩盤の動的挙動を地震応答の観点から現状を整理し、岩盤の動的特性に関する試験・実験の結果(既往研究)を取りまとめ、問題点と今後の課題を整理する。
- 2) 地震動WGでは、強震動と断層運動に伴う永久変形の予測、評価方法を整理し、現状の問題点と今後の取り組むべき課題を明らかにする。特に、断層運動による強震動および永久変形に着目し、不連続面を有する岩盤の地震伝播、永久変形による地盤変形、構造物への影響について検討を行う。
- 3) 岩盤構造物WGは、各種岩盤構造物の地震動被害例を収集し、現状の設計・解析法と評価レベルの現状を整理し、その問題点と今後の課題をまとめる。ただし、構造物の範囲は広いため、対象を絞って4つのサブ・ワーキング・グループ(岩盤トンネルSWG、岩盤斜面SWG、

基礎岩盤 SWG, および石積構造物・遺跡 SWG) に分かれて活動する.

- 4) 数値解析 WG は, 岩盤動力学における解析技術について国内外の文献調査を行い, 今まで提案および利用されている各種の解析技術の現状を整理し, その問題点と今後の課題をまとめる.

岩盤動力学の体系化を含めて, 本小委員会の第 1 フェーズの活動に関して, この報告書でまとめ, 各章でその詳細の内容を記述しています.

平成 29 年 12 月 22 日

公益社団法人 土木学会 岩盤力学委員会  
岩盤動力学に関する研究小委員会 委員長  
琉球大学 教授  
藍檀 オメル

# 目 次

はじめに

## 1. 研究小委員会活動の概要

- 1.1 研究小委員会の活動方針と委員構成 …………… 概要 1
  - 1.1.1 活動方針 …………… 概要 1
  - 1.1.2 委員構成 …………… 概要 1
- 1.2 小委員会活動の概要 …………… 概要 2

## 2. 岩盤の動的物性（担当：岩盤動的物性 WG；岡田主査，藍檀副主査）

- 2.1 動的物性の検討方針 …………… 物性 1
- 2.2 文献調査 …………… 物性 1
  - 2.2.1 岩盤の動的物性の文献調査事例 …………… 物性 1
  - 2.2.2 動的問題の分類 …………… 物性 10
  - 2.2.3 載荷速度の影響 …………… 物性 11
  - 2.2.4 繰返し回数の影響 …………… 物性 13
- 2.3 原子力発電所の岩盤の耐震設計に関する動的物性の問題 …………… 物性 15
- 2.4 文献調査のまとめ …………… 物性 17
- 2.5 動的物性評価の現状と今後の方向性 …………… 物性 17
- 2.6 動的物性 WG のロードマップ …………… 物性 18

## 3. 地震動の発生機構とそのモデル化（担当：地震動 WG，岩田主査，上西副主査）

- 3.1 目的 …………… 地震動 1
- 3.2 既存の手法と現状 …………… 地震動 4
  - 3.2.1 地震動予測 …………… 地震動 4
  - 3.2.2 断層変位による影響評価 …………… 地震動 8
  - 3.2.3 土木構造物を対象とした各種基準における事例 …………… 地震動 13
  - 3.2.4 断層破壊ならびに地震波，地震動に関連する岩の力学分野の研究の現状（文献収集） …………… 地震動 32
- 3.3 長野県神城断層地震のシミュレーション …………… 地震動 35
  - 3.3.1 神城断層地震の概要 …………… 地震動 35
  - 3.3.2 検討条件 …………… 地震動 36
  - 3.3.3 検討手法 …………… 地震動 38
  - 3.3.4 シミュレーション結果 …………… 地震動 38
- 3.4 現状の課題と次フェーズの方針 …………… 地震動 54

4. 地震に伴う構造物の被害（担当；構造物WG；亀村主査，大塚副主査）	
4.1 岩盤構造物の地震被害（亀村主査）	構造 1
4.2 岩盤トンネルの耐震性評価（亀村主査）	トンネル 1
4.2.1 岩盤トンネルの地震被害事例	トンネル 1
4.2.2 地震被害のメカニズム	トンネル 16
4.2.3 岩盤トンネルの耐震性評価法	トンネル 22
4.2.4 今後の課題	トンネル 29
4.3 岩盤斜面の耐震性評価（馬 SWG 主査）	斜面 1
4.3.1 岩盤斜面の地震被害事例	斜面 1
4.3.2 岩盤斜面の破壊メカニズム	斜面 23
4.3.3 岩盤斜面の耐震評価法	斜面 43
4.3.4 今後の課題	斜面 51
4.4 基礎岩盤の耐震性評価（岩田 SWG 主査）	基礎 1
4.4.1 基礎岩盤の地震被害事例	基礎 1
4.4.2 基礎地盤の破壊メカニズム	基礎 11
4.4.3 基礎地盤の耐震評価法	基礎 11
4.4.4 今後の課題	基礎 19
4.5 歴史的石積み構造物および遺跡の耐震性評価（渡嘉敷 SWG 主査）	石積 1
4.5.1 歴史的石積み構造物および遺跡の地震被害事例	石積 1
4.5.2 石積み構造物の模型振動実験	石積 16
4.5.3 石積み構造物の動的安定性評価に関する解析手法	石積 26
4.5.4 石積み文化財の地震時の応答に関する観測システムの開発と適用事例	石積 39
4.5.5 今後の課題	石積 44
4.6 立坑における耐震性評価（大西委員兼アドバイザー）	立坑 1
4.6.1 天ヶ瀬ダムとトンネル放水路ゲート部立坑の概要	立坑 1
4.6.2 ダム施設の耐震設計の考え方	立坑 3
4.6.3 耐震性能照査	立坑 4
4.6.4 今後の課題	立坑 6
5. 地震に関する岩盤構造物の解析事例（担当：数値解析WG；西村主査）	
5.1 解析手法の概要	解析 1
5.2 収集事例のまとめ	解析 2
5.2.1 解析対象	解析 2
5.2.2 構成則の導入	解析 4
5.2.3 減衰の取扱い	解析 4
5.2.4 外力	解析 4
5.2.5 不連続面の導入方法	解析 5

5.2.6	境界条件の導入	解析	5
5.2.7	解析に際して必要となる指標とその入手方法	解析	5
6.	今後の課題		
6.1	委員会で取り扱ったテーマに対する今後の課題	課題	1
6.1.1	岩盤の動的物性	課題	1
6.1.2	地震動の発生機構	課題	1
6.1.3	岩盤構造物	課題	1
6.1.4	岩盤構造物の数値解析	課題	3
6.1.4	全体総括	課題	3
6.2	その他のテーマに対する今後の課題	課題	4

あとがき