

山岳トンネルにおける盤ぶくれの メカニズム判定方法と危険度評価方法

防災技術研究部 地質研究室

副主任研究員 西金 佑一郎

目次

1. 研究の背景と目的
2. 盤ぶくれのデータ分析
 - 事例整理
 - 盤ぶくれメカニズムの検討
3. 危険度評価・メカニズム判定方法
4. 維持管理手法の提案
5. まとめ・成果の活用

1. 研究の背景と目的

山岳トンネルでは盤ぶくれが生じることがある

- ・ **建設時**から生じる場合と、**完成後**に顕在化する場合がある
- ・ 完成後に顕在化した場合、調査・対策に時間や労力がかかる

供用中のトンネルで盤ぶくれが生じた場合、維持管理の対応は...

- ✓ 変状範囲と進行性の把握
- ✓ 対策の選定

課題

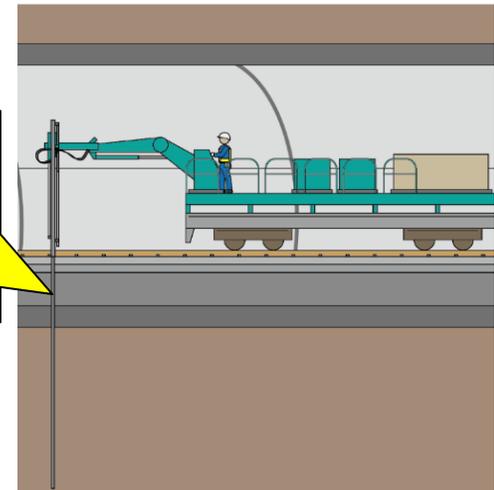
適切な調査・対策範囲の決定が難しい

↑
既往のメカニズム区分は維持管理の課題解決に活用しにくい

走行安全性を脅かしうる変状

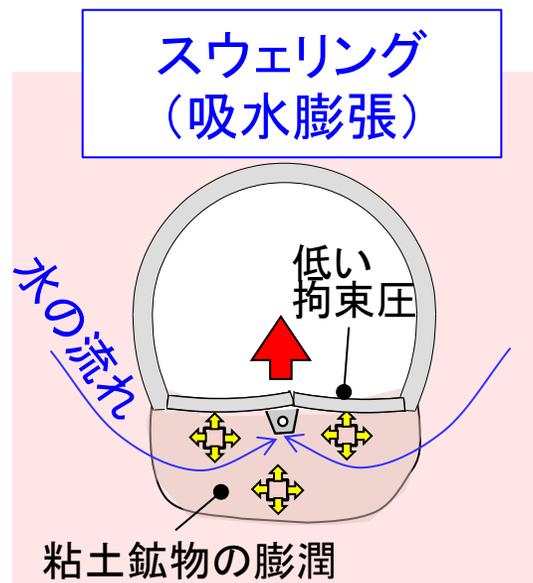
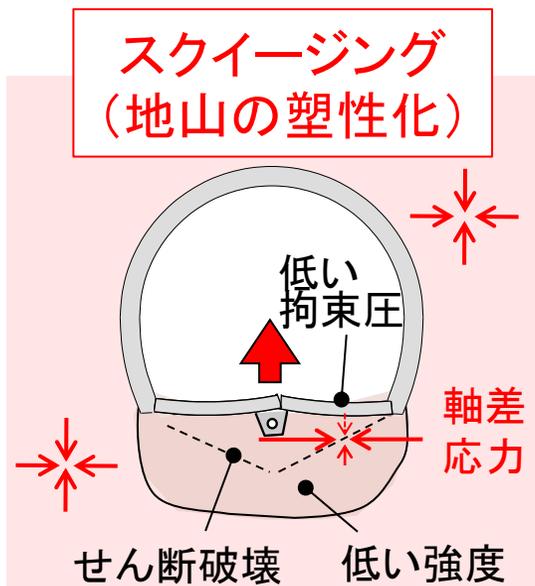
インバート設置箇所でも盤ぶくれが生じることがある

盤ぶくれ



既往の盤ぶくれメカニズム

主たるメカニズム



岩石の吸水膨張の例

①建設時から生じる場合、②完成後に顕在化する場合

⇒ いずれもスクイージングが主たるメカニズム

維持管理の対応を検討する上で、既往のメカニズム区分は必ずしも有効でない

目的

維持管理に活用しやすいメカニズム区分とその判定方法の提案

目次

1. 研究の背景と目的
2. 盤ぶくれのデータ分析
 - 事例整理
 - 盤ぶくれメカニズムの検討
3. 危険度評価・メカニズム判定方法
4. 維持管理手法の提案
5. まとめ・成果の活用

盤ぶくれ事例の整理

トンネル完成後に盤ぶくれが生じた事例を公表文献より調査(鉄道&道路)

⇒ 収集した26トンネルでの事例を整理

整理項目

トンネル構造、地質、盤ぶくれ延長、建設時内空変位、岩石試験結果 等

インバート 有無	工法	地質年代	路盤下の地質	盤ぶくれ 延長(m)	建設時内空 変位(mm)	地山強度比	スレーキン グ指数
あり	矢板工法		片岩(破砕状), 蛇紋岩(粘土化~葉片状)	25	650	0.03	4
なし	矢板工法	新第三紀	安山岩(部分的に強変質)	40		1以下	
あり	矢板工法	新第三紀	泥岩, 凝灰岩(断層破砕帯)	60	300	0.21	4
あり	NATM	新第三紀	泥岩	3300	60	0.75	4
あり	NATM	新第三紀	凝灰岩(熱水変質)	20	300以上	1.8	3
			...				

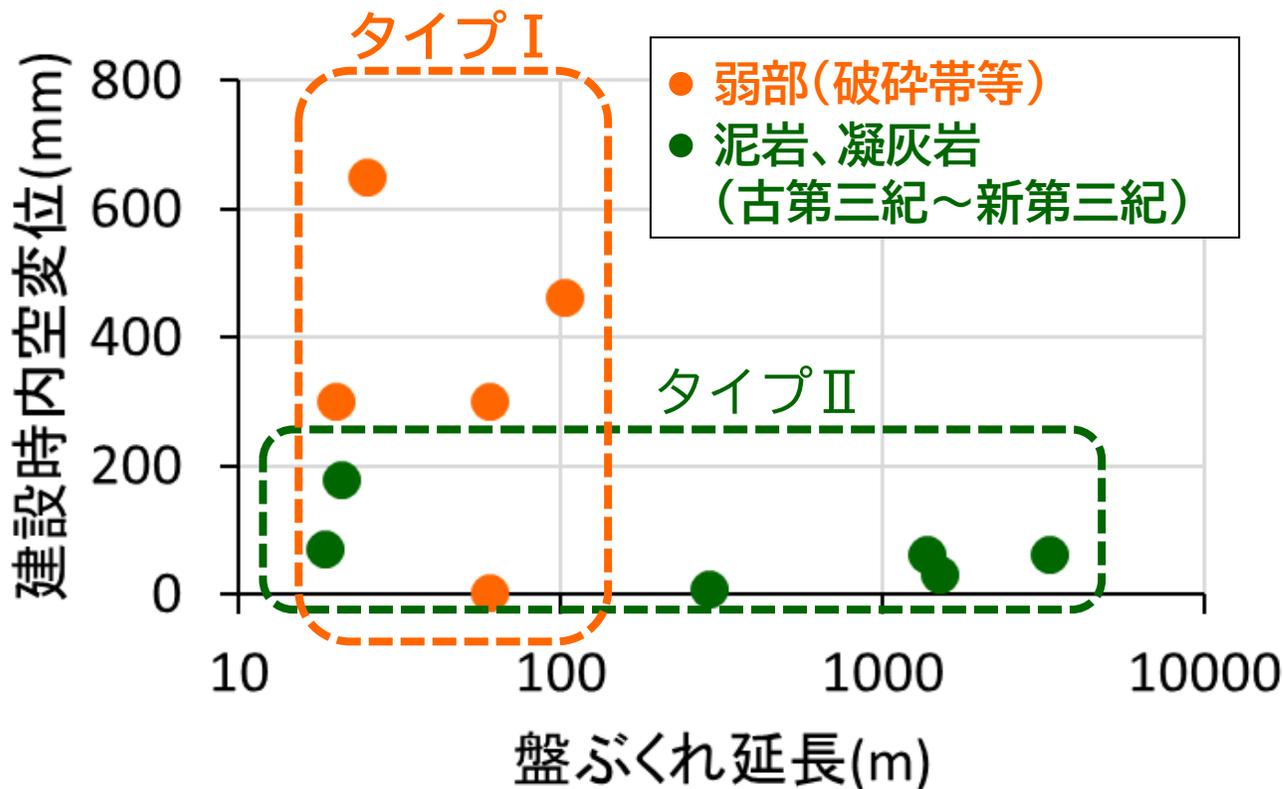
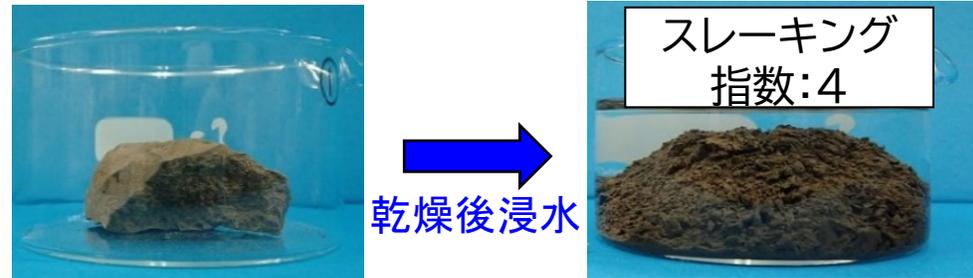


- ・地質の弱部(破砕帯等)
- ・新第三紀の泥岩、凝灰岩

での発生事例が多い



地質タイプ別の盤ぶくれの特徴



地質、盤ぶくれ延長、建設時内空変位のデータが判明しているトンネルを対象に整理

項目	タイプ I	タイプ II
地質	断層破碎帯, 変質帯, 強風化帯などの地質の弱部が分布	新第三紀の泥岩または凝灰岩が分布
地山強度比*	小さい (概ね2以下)	概ね2~8程度
スレーキング指数	一般に高い	高い(3~4)
掘削時の内空変位	大きい (概ね70mm以上)	小さい (概ね70mm未満)
掘削時の湧水	多い	少ない
盤ぶくれ延長	短い (概ね100m以下)	長い(1kmを超える場合もある)

*地山強度比 = 一軸圧縮強さ / 土被り圧

盤ぶくれメカニズムの検討

タイプⅠ ➡ 「強度不足」 局所的

建設時から強度が低い地山

→ 掘削後スクリーミングによる盤ぶくれ発生

タイプⅡ ➡ 「強度低下」 長区間

スレーキングしやすい岩石からなるが、掘削時は湧水がなく安定していた地山

→ 地山への水の供給(中央排水管等)

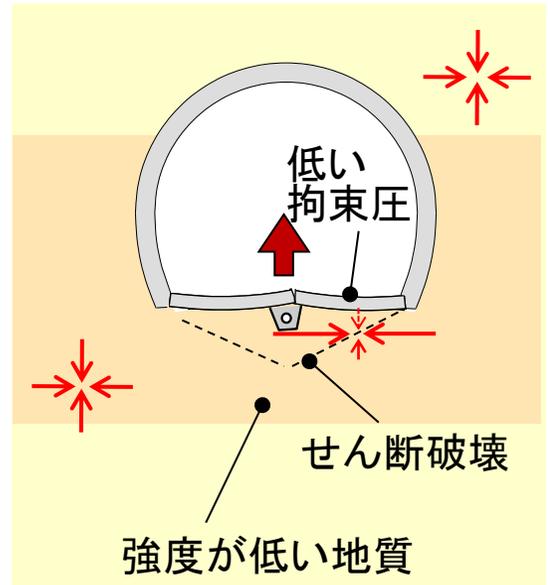
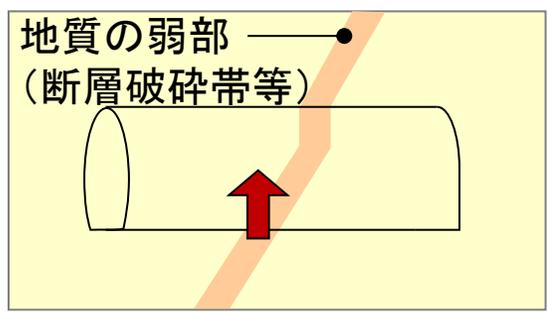
→ スレーキングにより経時的に強度低下

→ スクリーミングによる盤ぶくれ発生

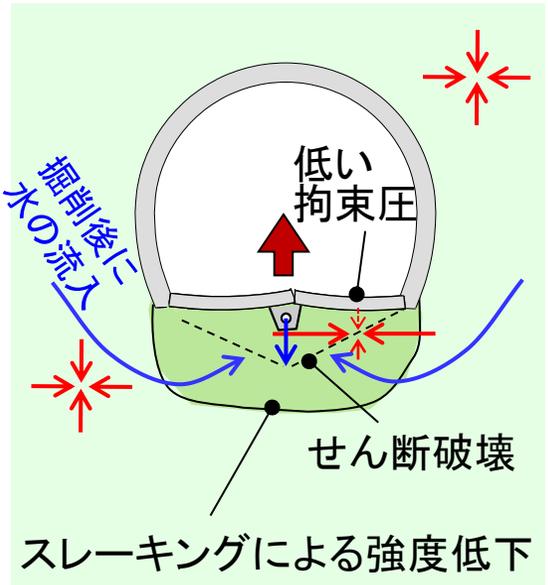
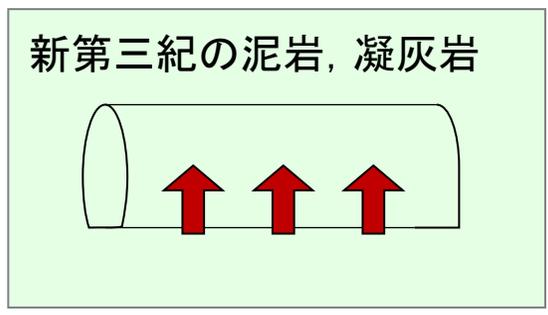
* 両方が複合した盤ぶくれも生じうる

スクリーミングによる盤ぶくれ

タイプⅠ



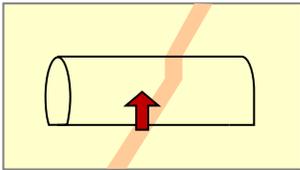
タイプⅡ



盤ぶくれメカニズム区分の活用

共通する重要な注意点

建設時の地質の記録(地質縦断図、岩石試験結果等)を引き継ぎ、適切に保管する

項目	強度不足 	強度低下 
盤ぶくれ確認後の変状調査範囲	盤ぶくれ箇所周辺で路盤下に弱層が分布する範囲	盤ぶくれ箇所と同種の地質が路盤下に分布する範囲
維持管理段階の注意点・着目点	盤ぶくれとともに側壁のひび割れが発生しやすい	<ul style="list-style-type: none"> ・長区間で同程度の隆起が生じると、軌道検測では盤ぶくれの把握が困難な可能性がある ・対策としてロックボルトを施工する際、削孔水により地山がスレーキングする可能性がある
建設時の活用	路盤下に弱層が分布する範囲を把握し、十分余裕を持った延長でトンネル構造を強くする	<ul style="list-style-type: none"> ・広範囲で盤ぶくれが生じうることを念頭に、掘削前の地質調査等によって、盤ぶくれしやすい地質の有無を早期に判断する ・中央排水管を無孔管とすることを検討する

目次

1. 研究の背景と目的
2. 盤ぶくれのデータ分析
 - 事例整理
 - 盤ぶくれメカニズムの検討
3. 危険度評価・メカニズム判定方法
4. 維持管理手法の提案
5. まとめ・成果の活用

評価・判定方法の検討方針

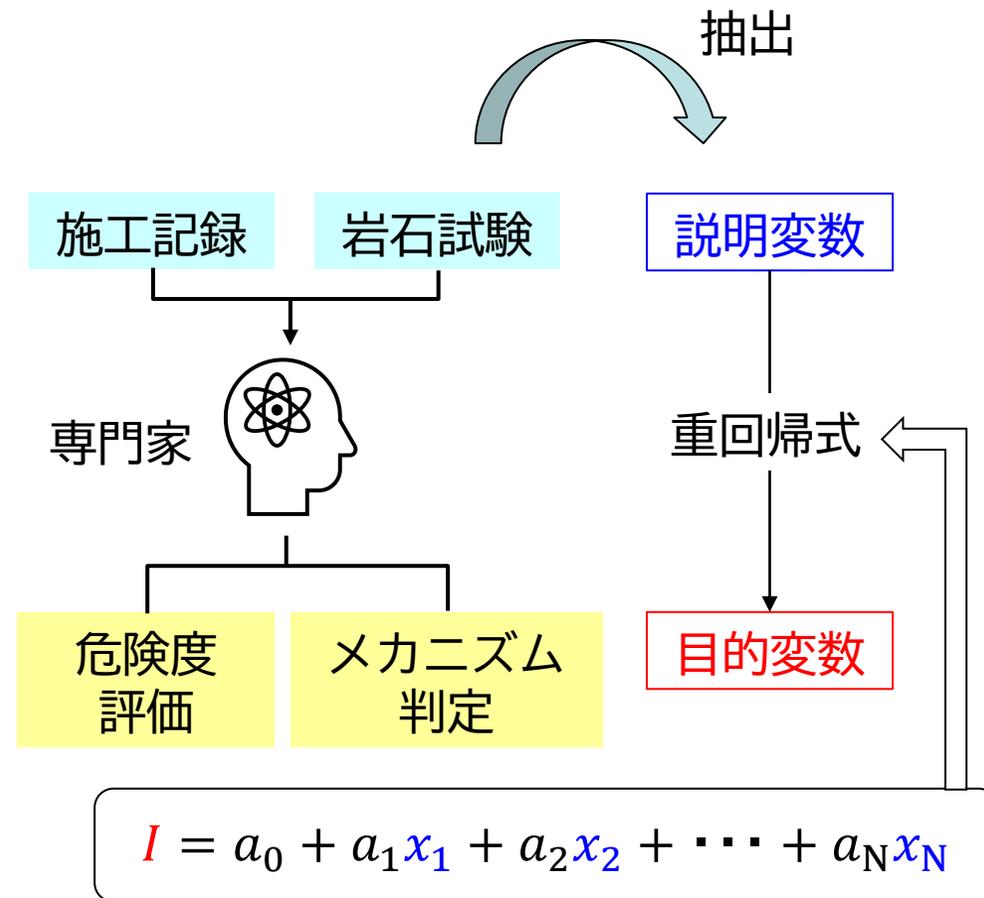
- ・盤ぶくれの危険度
- ・盤ぶくれメカニズム(強度不足／強度低下)

施工記録、岩石試験結果から、盤ぶくれへの寄与が大きな指標を抽出 ⇒ 説明変数

専門家の判定(⇒ 目的変数)を重回帰式により予測



専門知識を要せずに評価・判定できる方法を検討



重回帰分析のデータ

実際に盤ぶくれが生じた箇所データの含む(7/13)

	項目 (説明変数の候補)	箇所A	箇所B	...	箇所M
1	路盤下の地質 (泥岩、凝灰岩=1、その他=0)	1	1		1
2	地山強度比	5.2	2.7		0.8
3	地山の一軸圧縮強さ (MPa)	3.4	9.5		2
4	スレーキング指数 (0~4)	3.7	4		2
5	スメクタイト含有量 (%)	10	29		5
6	掘削時内空変位 (mm)	46	57		140
7	掘削時湧水 (切羽観察記録の点数: 1~4)	1	1		3

専門家の評価

盤ぶくれ危険度
(総合)

60

100点満点

×

強度不足の
寄与の割合

0.1

強度低下の
寄与の割合

0.9

=

6

=

54

盤ぶくれ危険度
(強度不足)

盤ぶくれ危険度
(強度低下)

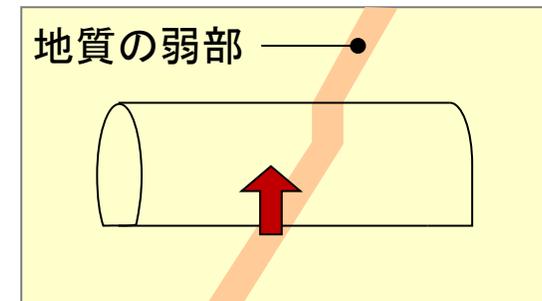
← 目的変数 I_A

← 目的変数 I_B

盤ぶくれ危険度の算出式(暫定案)

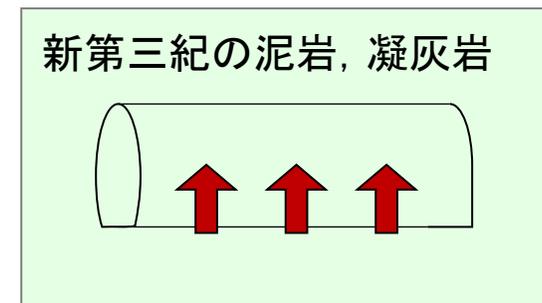
I_A : 強度不足による盤ぶくれ危険度

$$= -1.2 \times \text{地山強度比} + 0.13 \times \frac{\text{掘削時内空変位}}{\text{掘削時}} + 20$$



I_B : 強度低下による盤ぶくれ危険度

$$= 9.8 \times \frac{\text{スレーキング指数}}{\text{スレーキング}} - 18 \times \frac{\text{掘削時湧水}}{\text{掘削時}} + 33$$



★盤ぶくれへの寄与が大きい指標が抽出されている

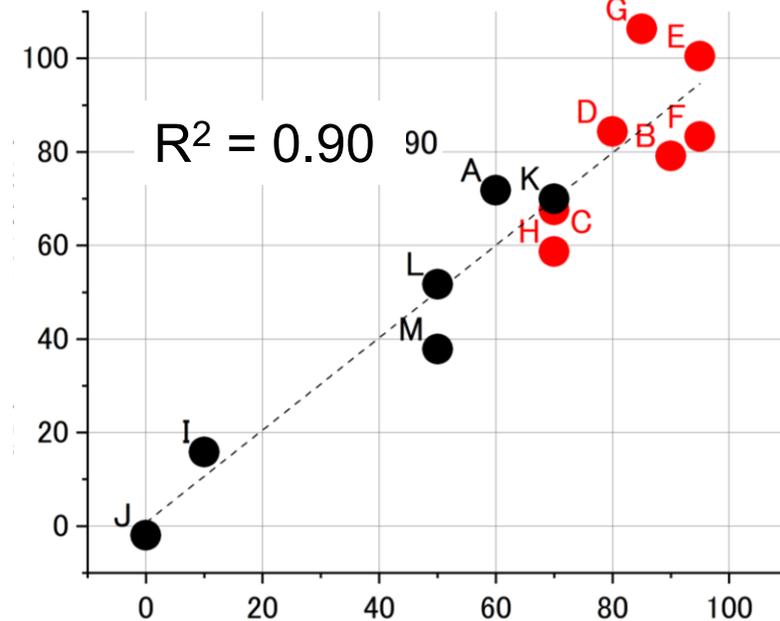
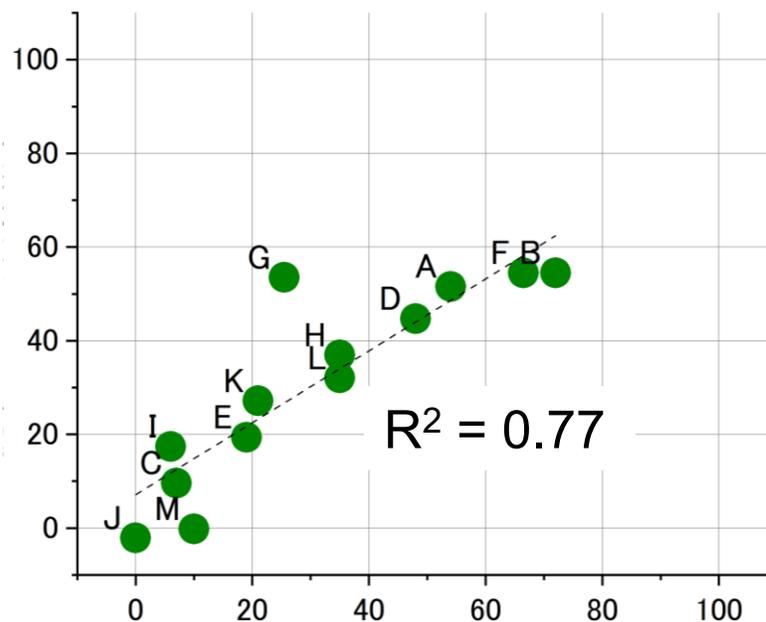
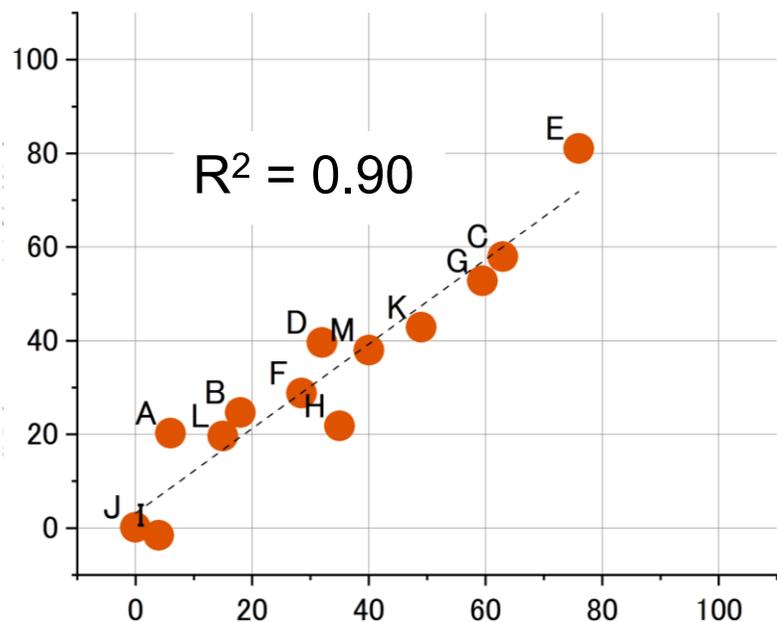
重回帰分析の結果確認

I_A : 強度不足による盤ぶくれ危険度

I_B : 強度低下による盤ぶくれ危険度

$I_A + I_B$
総合的な盤ぶくれ危険度

縦軸：算出式による計算結果



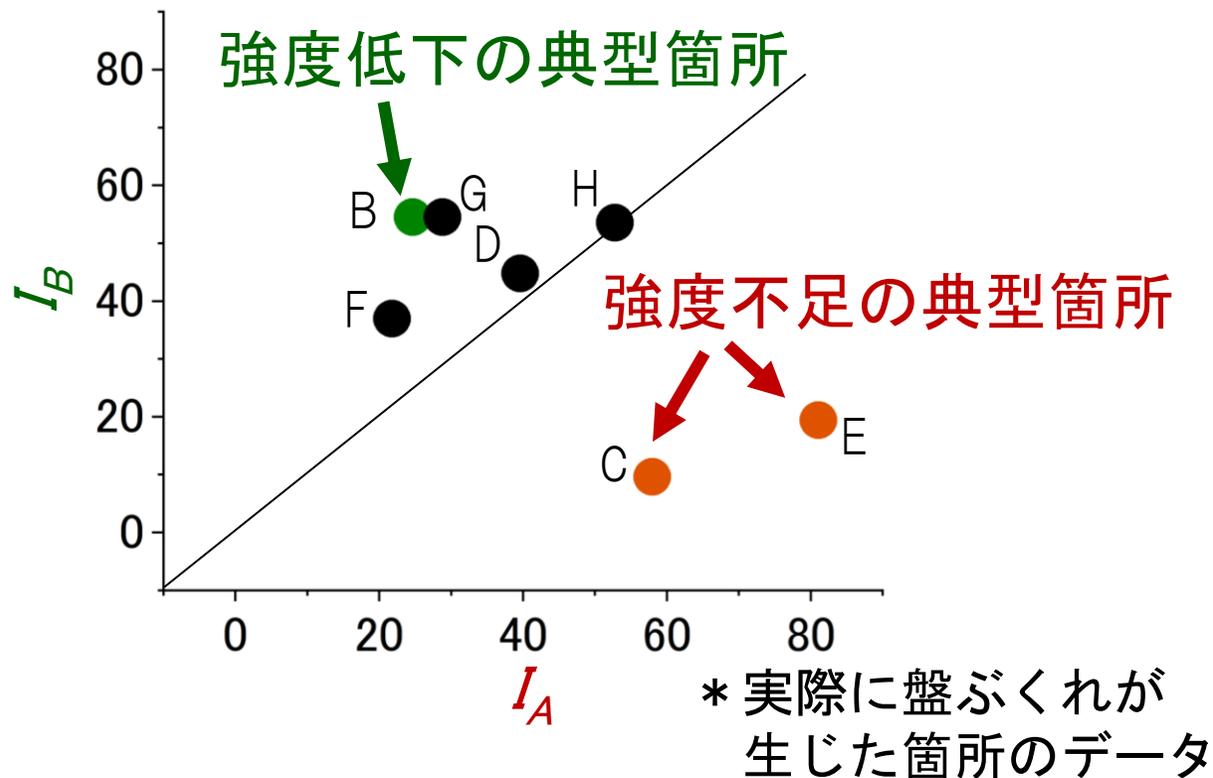
横軸：専門家回答から算出

● 実際に盤ぶくれが生じた箇所のデータ
● その他のデータ

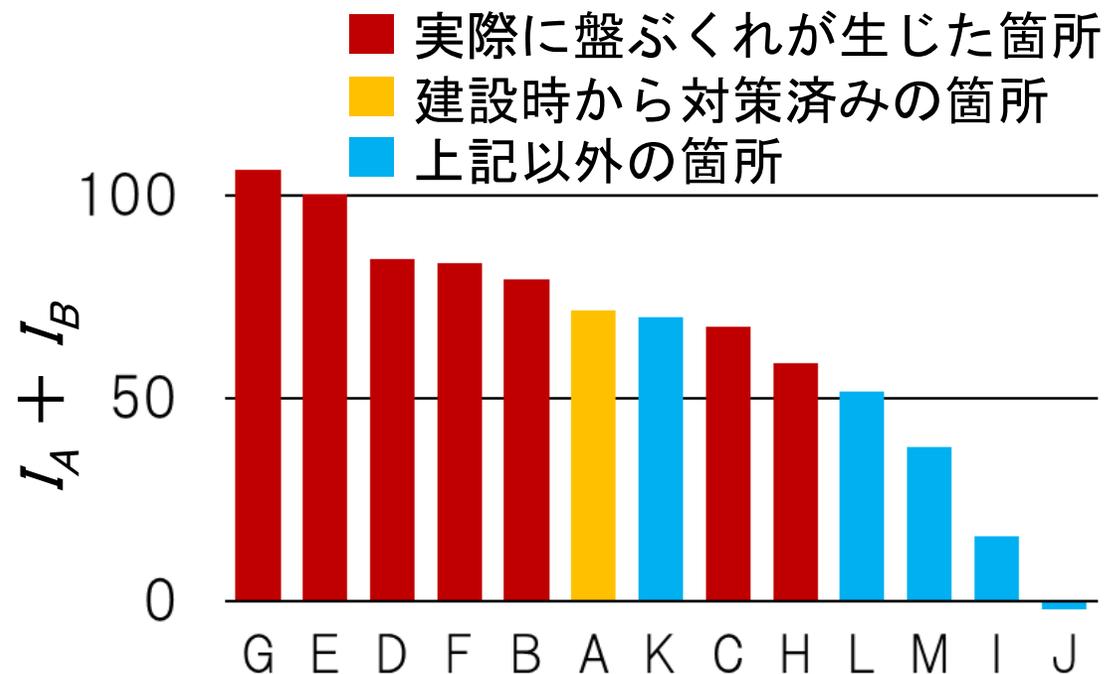
専門家の回答を高い適合度で再現

メカニズム判定および危険度評価方法

メカニズムの判定



総合的な盤ぶくれ危険度



I_A と I_B の比較 → メカニズムの判定

I_A と I_B の合計 → 総合的な盤ぶくれ危険度

目次

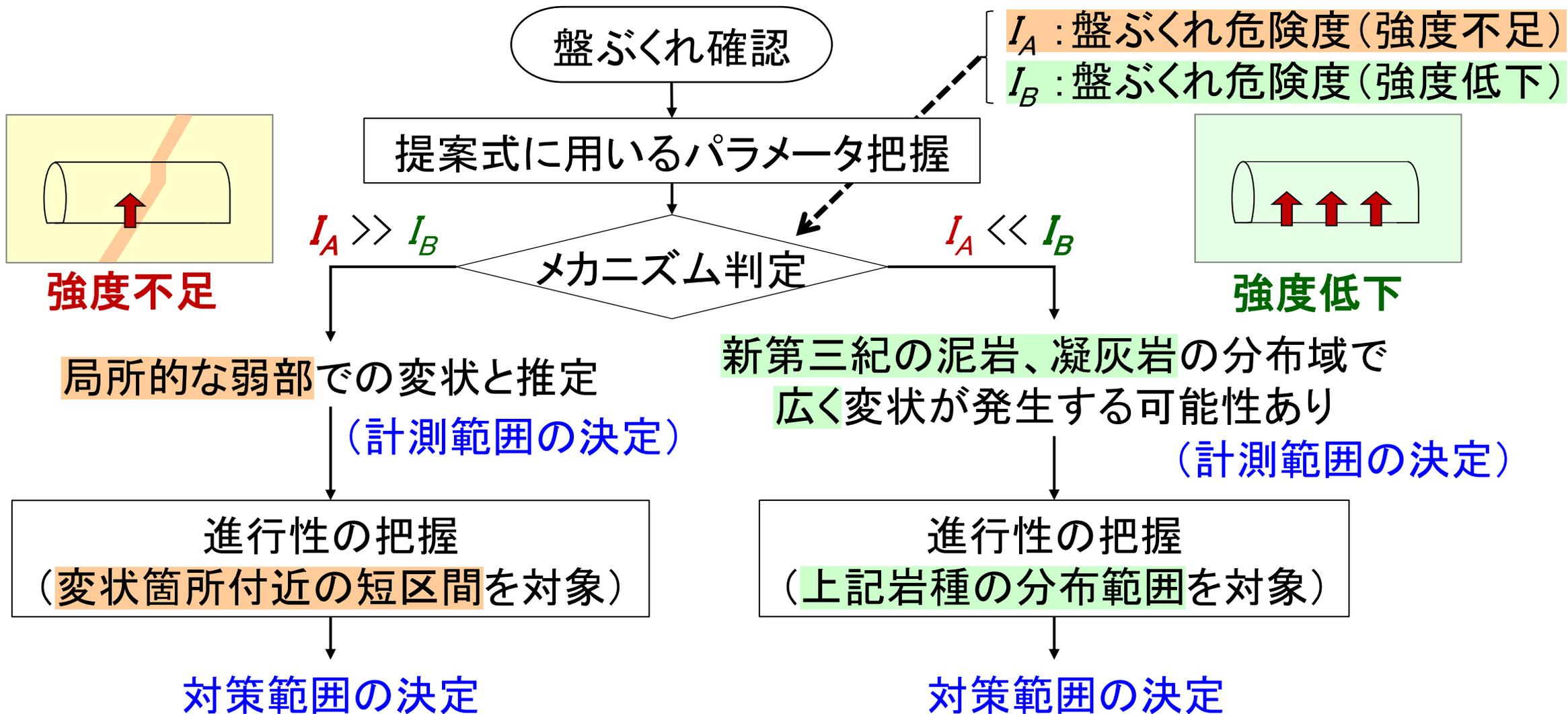
1. 研究の背景と目的
2. 盤ぶくれのデータ分析
 - 事例整理
 - 盤ぶくれメカニズムの検討
3. 危険度評価・メカニズム判定方法
4. 維持管理手法の提案
5. まとめ・成果の活用

調査・計測・対策の策定フロー

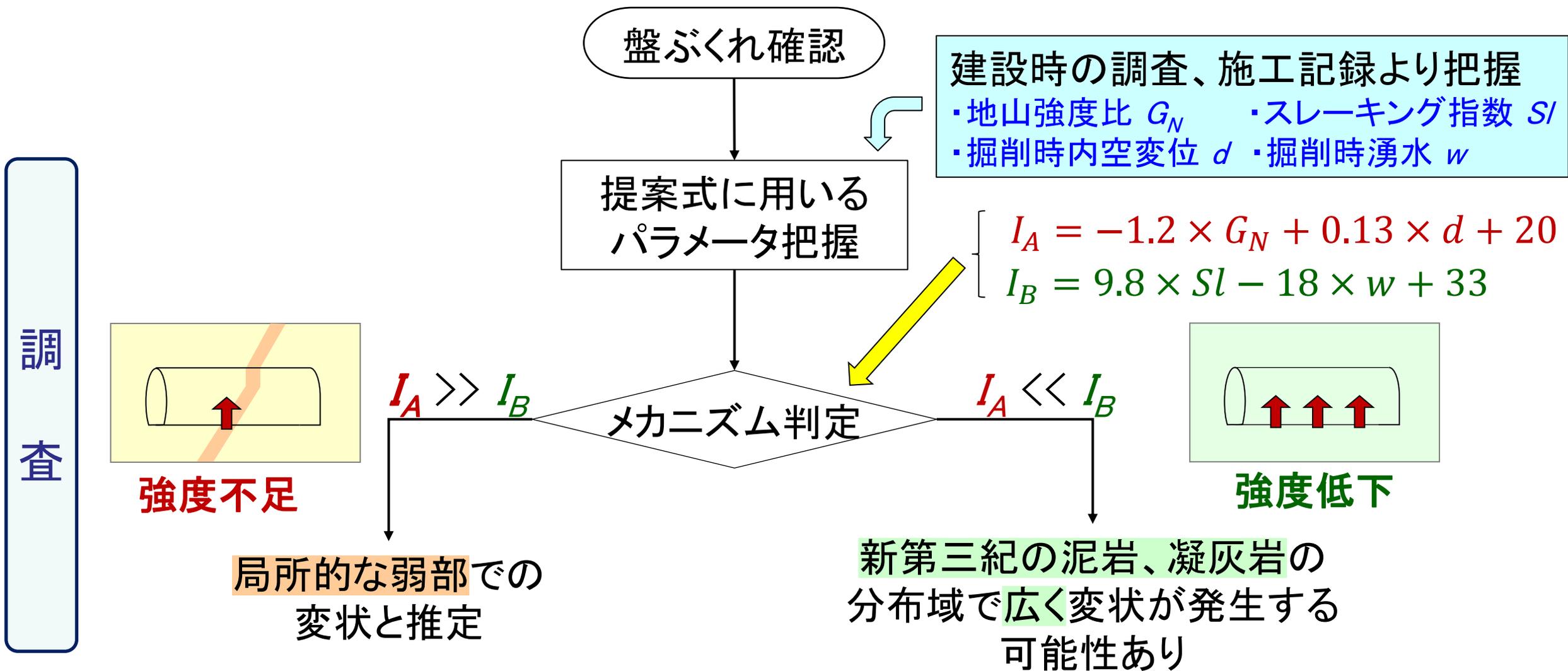
調査

計測

対策

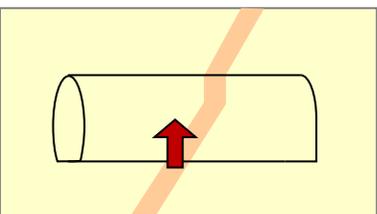


調査・計測・対策の策定フロー（調査段階）



調査

調査・計測・対策の策定フロー（計測・対策段階）



強度不足

局所的な弱部での
変状と推定

計測範囲の決定

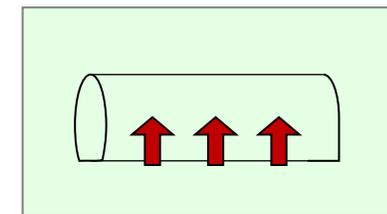
計測

進行性の把握
(変状箇所付近の短区間を対象)

対策範囲の決定

対策工の設計・施工

新第三紀の泥岩、凝灰岩の
分布域で広く変状が発生する
可能性あり



強度低下

計測範囲を
定められる

計測範囲の決定

進行性の把握
(上記岩種の分布範囲を対象)

対策範囲の決定

対策工の設計・施工

施工時に含水比
の変化を抑える
手法を検討

ロックボルト付着力の評価について既発表(参考文献)にて紹介

目次

1. 研究の背景と目的
2. 盤ぶくれのデータ分析
 - 事例整理
 - 盤ぶくれメカニズムの検討
3. 危険度評価・メカニズム判定方法
4. 維持管理手法の提案
5. まとめ・成果の活用

まとめ

- 従来の盤ぶくれメカニズム「スクイーミング」を強度不足と強度低下に細分
強度不足⇒地山の弱部において局所的
強度低下⇒泥岩や凝灰岩の分布域で長区間
- 専門知識を要さない、盤ぶくれ危険度評価・メカニズム判定方法を提案

成果の活用

- メカニズムを考慮した調査・計測・対策方針の策定フローにより、盤ぶくれ箇所における維持管理上の適切な対応を決定しやすくなる
- トンネル建設時の盤ぶくれ対策に関し、メカニズムに応じた適切な構造設計の検討に活用できる

参考文献

西金佑一郎、浦越拓野、嶋本敬介、今泉光智哲：泥質軟岩の含水比変化がロックボルトの付着力に与える影響、鉄道総研報告、Vol.36、No.4、pp.17-22、2022