

浸透破壊トラブル事例の集積とその要因の分析

Analyses of causes of seepage failures

神戸大学大学院農学研究科 ○永井 茂・田中 勉・笠松 晃次

Nagai Shigeru, Tanaka Tsutomu and Kasamatsu Kohji

1. 序論

地下水位の高い地点における地盤の締切り掘削では浸透破壊が問題となる。綿密に設計された場合にも浸透破壊を起こすことがあるが、詳しく解析された事例報告はたいへん少ない。トラブル事例を詳細に分析し、その要因を明らかにすることは、浸透破壊理論の解明に大変有用であると考えられる。ここでは、浸透破壊トラブル事例のうちボーリング、パイピング、盤ぶくれを対象として、収集・分析を行い、トラブルの形態・進行状況や要因等について考察を行った。

2. トラブル事例の収集

ここでは、トラブル事例集²⁾、学術雑誌・論文集³⁾、技術誌・技報⁴⁾、地盤工学分野の書籍⁵⁾など、幅広く資料を調査し、その中から浸透破壊に関連するトラブル事例等300事例を収集した。さらに、この中からボーリング、パイピング、盤ぶくれを対象として、記述が明確でトラブル要因の把握(推定)が可能なもの51事例を取り上げた。

3. トラブル事例の分析

51事例について、トラブルの形態・進行状況、要因、及び、事後対策に分けて考察を行った。

3.1 トラブルの形態・進行状況

まずトラブルの形態について考える。Table 1に51事例の破壊形態を示す。Table 1より、今回とりあげた事例ではパイピングが多いことがわかる。土質との関係でみると、掘削地盤が砂及び砂礫などの透水性の地盤ではボーリングが発生している。また、透水性地盤の上にシルトや粘土などの難透水性地盤がある場合では盤ぶくれが数多く発生している。パイピングは、透水性地盤で生じるケースが多いが、難透水性地盤でも生じるケースがある。これは、ボーリングや盤ぶくれが、それぞれ透水性や難透

水性地盤で生じる全体的な現象であるのに対し、パイピングが、透水性や難透水性地盤において発生する局所的な現象であるためであると考えられる。さらに、パイピングからボーリングに至ったものやパイピングから盤ぶくれに至ったものもあった。これは、局所的な現象であるパイピング現象から全体的な破壊形態であるボーリングや盤ぶくれへ発展することを示している。

Table 1 破壊形態 (51 事例)

	ボーリング	パイピング	盤ぶくれ
事例数	20	29	6
掘削地盤の種類	主に透水性地盤	透水性地盤 難透水性地盤	主に難透水性地盤

*1事例で複数の形態を示すものがあり、事例総数は表中の事例数の合計と一致しない。

次に、トラブルが進行する過程について考える。各トラブル事例によると、異常が発見されてから数時間で破壊した場合、数日～数カ月以上にわたって土粒子が移動し付近の構造物に影響を及ぼした場合など、比較的短いものから長いものまで幅広く存在する。その間、土粒子の移動は継続しており、それが原因で浸透水の濁りや流量の増大、矢板の変位など各種計測値が異常値を示すといった前兆現象が起こる。このため、現場における状況の変化をよく観察し、状況に応じて即座に適切に対応することが肝要である。

3.2. トラブル要因の分類

次に、取り上げた51事例について、トラブル要因の分類を行った。分類にあたっては出典元の記述を尊重することを基本とし、添付されている図面や土質データ等から明らかにトラブル要因であるとして予想されるものについても、要因として加えた。そして、各事例のトラブル要因について、著者らがこれまでにを行った事例解析の結果を参考に次の8要因に分類した。

- (1) 調査・設計・施工・対応ミス
- (2) 予想もしない事態の発生

神戸大学(Kobe University), キーワード: 地盤浸透破壊, ボーリング, パイピング, 盤ぶくれ, 事例研究, 要因分析

Table 2 要因分類結果 (51 事例)

トラブル要因	事例数	主な内容例
調査・設計 施工・対応 ミス	40	調査設計ミス(土質物性値の評価誤り、調査不足、地下水位相違、浸透路長不足) 施工対応ミス(根入れ不足、施工不良、深掘り、調査坑未閉塞、前兆への不適切対応)
予想もしない事態の発生	20	地下水位の変動、地層構成の急変、気象条件の変化、地中障害物・古井戸の発生、地下水流の影響
被圧地下水	14	被圧地下水による掘削底面への浸透水圧上昇
地盤の不均質性	15	不均質地盤、メタンガスの噴出、施工による地盤の乱れ
地盤の異方透水性	0	(今回取り上げた事例には記述はなかったが、実際には影響があったと推測される)
浸透流の集中	25	二次元・三次元・軸対称集中、複雑な地盤形状による偏流
経年変化	2	目詰まり、構造物の劣化
その他	6	施工段階による条件変化、設計基準の未整備(技術力の未成熟)

*1 事例で複数の形態を示すものがあり、事例総数は表中の事例数の合計と一致しない。

(3) 被圧地下水

(4) 地盤の不均質性 (層状地盤を含む)

(5) 地盤の異方透水性

(6) 浸透流の集中

(7) 地盤条件の経年変化

(8) その他

Table 2 にトラブル要因とその内容を示す。

Table 2 より、要因別には設計・施工ミスによるものが最も多くなっている。これは、主に人為的なエラーなどのミスに起因していることから、チェック体制の強化など必要な措置を講じられればトラブルの低減につながる事が期待される。また、浸透流の集中に関しては、設計時に用いられる基準類において、近年、算定式の中で考慮されることが多くなっており、これを用いることでトラブルへのリスクは低減されるものと考えられる。一方、事例毎に見ると複数の要因が重なってトラブルに至った例が多い。これは、理論や技術が未成熟だった頃とは異なり、近年では浸透破壊に関する知見が得られたことにより、単一の要因によるトラブルが減少し、複数の要因が重なってトラブルに至るケースが多いためであると考えられる。

3.3 トラブル後の対策

トラブルが発生すると、それに対処する必要が生じる。トラブルの大きさによって対処の規模は変わるが、大きく応急対策 (トラブルを停止させる措置) と復旧対策 (工事を継続させる

ために必要な措置) に分類できる。

応急対策としては、対策に要する資機材が限られるなか、それ以上トラブルを拡大させないことが念頭に置かれるため、簡易的なものが基本となる。事例分析から、掘削側(下流側)地盤への水の注水(水替えを停止し水位の自然回復を行う場合を含む)及び掘削側地盤への载荷(土嚢などの投入や土砂の埋め戻しなど)が基本となっていることがわかった。応急対策を行うことによってトラブルの拡大が阻止されると、一旦施工を中断し復旧対策を検討することになる。Table 3 に事例における復旧対策項目を示す。複数の対策を併用するケースがあること及び事例によって明確な記述がないものがあるため事例総数と事例数の合計が一致しない。

Table 3 によると、地下水位低下工法及び地盤改良が最も多い。一旦、トラブルが発生すると工期や費用がかさむため、抜本的対策を行うことは難しい。そのため、施工が容易で、効果が確認しやすい工法が選定されたと考えられる。

Table 3 トラブル対策項目 (51 事例)

対策	事例数	備考
地下水位低下工法	19	ディープウェル工法、ウェルポイント工法など
地盤改良	14	薬液注入工法、グラウト注入工法など
コンクリート打設・打増	7	掘削底面へのコンクリート打ち増しなど
調査坑閉塞	5	注入工法などによる
水中施工	4	水中掘削、水中コンクリート施工
矢板増設補強	3	矢板打ち増し、根入れ長増加
その他	3	掘削深さ変更、施工方法変更など

*1 事例で複数の対策を併用したものや記述が明確でないものがあるため、事例総数は表中の事例数の合計と一致しない。

4. 結論

浸透破壊に関連するトラブル事例等を収集・分析を行い、①トラブルの形態・進行状況の把握、②トラブル要因の分類、③トラブル後の対処方法について考察した。

参考文献

- 日経 BP 社:土留め壁鋼矢板の根入れが不足、日経コンストラクション、pp37-38, 2001.
- 地盤工学会編:トラブルと対策シリーズ③根切り・山留めのトラブルとその対策、1995.
- 長山喜則, 水嶋浩治, 高橋祐史:4. 開削工事におけるトラブル事例とその対応 (地下建設工事におけるトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術), 地盤工学会誌, 62(6), pp.37-44, 2014.
- 高野 孝, 大坂ひろし, 清水 信:ボイリングを起ししやすい地盤における土留め工の地下水対策例, 基礎工, Vol.11, No.14, pp.61-67, 1983.
- 宮川房夫訳:構造物基礎の失敗例—その原因と対策—, 鹿島研究出版会, pp.10-124, 1971.