

## 「砂湧安全係數」\*討論

黃立煌\*\*

砂湧安全程度之估計，基本上應先進行地下水滲流分析。Cedergren (1967) 曾詳細介紹滲流分析及其應用。流線網及數值分析皆為滲流分析之方法。建築技術規則建築構造篇基礎設計規範(民國77年)所建議之砂湧分析公式，為流線網分析之簡化結果，因此在均質砂土，公式(1)應可應用。例如開挖深度10m及以抗砂湧安全係數1.0及1.5設計時，所需擋土設施貫入深度分別為1.0m及3.5m，應為合理之設計，應不致於如三位作者所述之「明顯不足」。

三位作者報導其於台南及高雄之深開挖經驗，開挖時擋土結構外之水壓計並無顯著下降之情形。本人提醒設計或施工者應注意下列三項情形：

(1)管湧安全與擋土結構外側水壓是否下降無關。假如外側地下水補注量等於滲流量，外側地下水位將維持平衡。此點工程界尤需注意，水壓計觀測無法對管湧破壞提供「預警」。待水壓下降時管湧破壞可能已經發生。

(2)水壓計之裝設位置。水壓計透水段及濾層段裝設之深度不同時，將有不同之水壓變化幅度。應注意如採用觀測井時，由於濾料範圍過度而難以反映滲流狀況時水壓變化。

(3)土層均勻性。實際土層狀況並非如

分析時所假設之「均質土」。水壓計周圍可能有相對不透水層，例如粉土薄層，於調查時因取樣間距過大而未有察覺。在此方面，採用貫入錐CPT之連續性調查應有所助益。

有關結論第4項所提出，於地下室施工時所觀察之砂湧現象，以了解砂湧模式。在台北地區亦有砂湧破壞案例可供參考。根據現場之觀察結果及施工記錄，顯示砂湧絕大部份發生於擋土結構破洞或接縫之漏水處；破壞發生時該破洞因高於開挖面而出露，或在開挖面下方有冒砂之情形。固然施工者對開挖面下方之湧水或湧砂較難察覺，及至破洞出露時可能已有大量土砂流失而造成擋土結構外側下陷之破壞。另一方面，施工者於發現擋土結構孔洞後，有案例顯示止水措施貫入孔洞下方1至2m，即可達到補救之目的。根據上述破壞時之觀察及止水措施之經驗，可推算得當開挖深度或水頭壓力差為10m，管湧安全係數最少為1.0時，所需之止水措施需貫入開挖面下方最少1至2m。以此反推算結果驗證公式(1)之適用性，進一步證實公式(1)在均質土之情形下應可採用。

### 參考文獻

CEDERGREN, H.R. (1967) : Seepage, Drainage and Flownets, New York, John Wiley and Sons.

\*謝旭昇、程日晟、王崑瑞(民國82年)，地工技術第44期，第98-99頁。

\*\*亞新工程顧問有限公司

## 「砂湧安全係數」討論意見回覆

謝旭昇 程日晟 王崑瑞

關於黃立煌先生對原文所提的討論意見，作者綜合答覆如下：

1. 作者完全同意黃君「砂湧安全程度之估計，基本上應先進行地下水滲流分析」的意見，作者在原文結論第三項支持此一觀點。但滲流分析應確實反映現場狀況，包括鑽探所未能顯示之薄層不透水層及邊界條件皆須確實掌握。

2. 開挖時真正之滲流狀況須視現地之土層分佈狀況而定，事實上自然界很少有所謂之均質土壤，厚層之砂土層中極可能夾有薄層透水性低之粉土或粘土。公式(1)所對應之滲流狀況於現場並不一定主要是控制因素（Governing Mechanism），因此以公式(1)計算砂湧安全係數可能過於樂觀。可能有其他型式之滲流狀況更易形成砂湧。

3. 實際之砂土地層，常常夾有低透水性的粘土薄層，如台北盆地的松三層、松五層，以及作者文中提及之高雄、台南的砂土層。當砂土地層存在低透水層，在基地內抽水時，就像對受壓水層抽水一樣，基地外側水頭高度可能沒有明顯下降。此一情況若以公式(1)計算砂湧安全係數，顯然不太保守。故實際砂土層應用公式(1)進行砂湧檢核時，應謹慎評估其適用性。

水壓計最多僅能測地下水壓是否因滲流而降低，作者同意水壓計對砂湧無法提供預警。但開挖時外側水壓計並無顯著下降情形，可能顯示公式(1)所代表之滲流狀況於實地並未發生。

黃君在提醒設計者及施工者注意的第2及第3項，即著眼於實際土層並非均質土層。黃君的意

見相當寶貴。

4. 根據作者經驗，擋土結構（如連續壁）發生滲水、漏水、湧水或湧砂，其程度除與基地內外側水頭差有關之外，尚與擋土壁的破洞大小、性質有關。若在砂土層的破洞為包泥或劣質混凝土，在破洞未出露時沒有任何異常跡象，破洞出露時，會先產生滲水，繼而漏水，待包泥被水沖出後，始造成大量砂和水流出，形成砂湧。若破洞為包砂或空洞，則在破洞未出露時，就會有開挖面泛水的異常現象，如未能及時解決，湧水狀況將隨時間而擴大，最後形成大規模砂湧破壞。

實務上，防止擋土壁破洞導致砂湧的措施分為防堵及疏導二大類。防堵措施大多採用止水灌漿，降低地層的透水係數，將流水通路阻絕。在止水灌漿前可先在湧水處堆置砂包，利用砂包圍住的水頭壓力，平衡砂湧的水壓。而疏導措施是在破洞出露時，可先在破洞處塞入高透水性材料（如麻布）形成濾層，只讓不平衡的水流出，但阻止砂土被水帶出。

作者在原文結論第4項，旨在以止水灌漿的過程找出擋土壁破洞的位置深度，以該深度推算未進行止水措施前的砂湧安全係數。黃君在討論意見最後所提「管湧安全係數最少為1.0時，所需之止水措施需貫入開挖面下方最少1至2m，以反推算結果驗證公式(1)的適用性」，作者認為因破洞引起之砂湧與因擋土結構貫入深度不足所引起之砂湧，其邊界條件與機制（Mechanism）並不全然相同，關於此點仍有深入研究之必要。