

学位審査報告書

新制

工

1447

(ふりがな)	リ ケイタ
氏 名	李 圭太
学 位 (専攻分野)	博士 (工学)
学 位 記 番 号	論工博 第 4001 号
学 位 授 与 の 日 付	平成20年11月25日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第2項該当
(学位論文題目)	
河川堤防における安全性評価に関する研究	
論 文 調 査 委 員	主査 教授 大西 有三 副査 教授 大津 宏康 副査 准教授 清野 純史

工学研究科

(論文内容の要旨)

近年の豪雨災害では数多くの河川堤防が破堤し、同じ河川堤防の破堤であっても、越水開始から破堤までの時間や崩れ初めてから完全に破堤するまでの時間は、それぞれの事例で異なっている。平成 16 年豪雨の特徴は、局所的かつ短時間に大量の降雨に見舞われたことであり、日本全国のどの河川であっても、同じ条件の降雨に襲われれば、計画高水位を上回る危険性は高い。人命や財産を守る堤防に望まれる条件は、越水しても破堤しない、あるいは、破堤するにしても安全に避難できるだけの時間を要するものであることである。しかし、堤防のほとんどは現地調達地盤材料で構成されており、堤防の特性は千差万別であるのに加え、総延長が長大であることから、堤防の質的評価は進んでいないのが現状である。この質的評価にあたっては、河川堤防関連指針に準じて全国で実施されており、特に浸透に対する安全性検討が着目されている。この浸透に対する安全性検討は、対象外力を降雨・洪水とし、飽和－不飽和浸透流解析により堤体内浸潤面を数値解析して得られた浸潤面を円弧すべり計算に用いて最小すべり安全率評価している。この従来の安全性評価手法は、堤体の変形を考慮しない浸透流解析とすべり破壊のみを考慮する慣用円弧すべり解析を別個に行うものであり、洪水時に起こりうる堤防の破壊形態を必ずしも正確に模擬したものとはなっていない。

本研究では、河川堤防の浸透に対する安全性評価に関し、従来の慣用解析に代わり、土を土粒子と間隙水の二相混合体として取り扱い、不飽和領域における浸透特性を取り入れた応力－浸透連成解析を開発し、越流する河川堤防における変形解析を行っている。また、この解析で主体となる地盤特性値の調査において、調査法、調査条件の開発を実施している。さらに、レベル 2 地震動に対する河川堤防の安定性評価として、現行の静的照査法の課題を抽出し、その対応として全応力法による地震時時刻歴応答解析の適用を提案したものである。

本論文の構成は、序論および結論を含め、以下の 8 つの章から成っている。

第 1 章は、序論であり、本研究の背景と目的、現行の河川堤防性能設計について明らかにし、本論文の全体構成と内容を示した。

第 2 章では、現行の河川堤防における安全性評価手法の課題として、地盤調査では透水特性に対する調査手法、せん断強度特性を把握するための三軸圧縮試験条件、浸透に対する安全性評価では飽和－不飽和浸透流解析における貯留項に関する設定手法、不飽和特性に対する設定手法、降雨境界条件などの課題を明確にした。地震に対する照査手法についても現行の安全性評価手法を整理し、課題を抽出した。

第 3 章では、河川堤防の安全性評価を行うにあたり、適用する地盤特性値における地質調査方法について検討を行った。河川堤防の降雨・洪水による浸透挙動を解析するうえで主体となる透水係数については、マリ奥特サイフォンを用いた締固めた地盤の透水試験機を実用化した。この試験法の実用化にあたっては、種々の地盤における原位置試験結果と室内試験結果を比較し、有用性を確認した。円弧すべり計算や土（応力）－水（浸透）連成地盤解析などに適用するせん断強度特性値の把握を目的とした三軸圧縮試験では、河川堤防における透水特性を考慮した試験条件を提案し、妥当性を実験的に検証した。

第4章では、河川堤防の安全性評価手法の検討として、飽和－不飽和浸透流解析における支配方程式を誘導し、その支配方程式における飽和地盤の貯留係数について一般的に用いられる弾性係数を用いて設定できる新たな手法を明確にした。この飽和－不飽和浸透流解析における降雨境界条件において、法面部表層付近での流入・排水を考慮できる特殊な境界条件を提案し、解析的検討からこの妥当性を示した。次に、本論文の主目的である従来の慣用解析に代わり、土を土粒子と間隙水の二相混合体として取り扱い、不飽和領域における浸透特性を取り入れた応力－浸透連成解析の基本方程式を定式化した。

第5章では、応力－浸透連成解析手法の妥当性検証として平成16年7月に襲来した福井豪雨において発生した破堤を対象に、第4章で開発した応力－浸透連成解析を適用し、破堤要因の検討を行った。検討に際しては、この解析的検討の妥当性を検証する資料として、被害調査をもとに破堤要因の検討を実施した。この破堤要因としては、越水による侵食（洗掘）破壊と浸透による脆弱域の発生が複合的に作用し、局所的な破壊が進行して破堤に至ったことを明確にした。なお、本研究で開発した応力－浸透連成解析は越流時における侵食（洗掘）は考慮されていないため、今後、不連続体解析手法などによる洗掘過程のシミュレーションの開発が必要であることを指摘した。

第6章では、河川堤防の耐震性能評価手法として、有効応力法に基づく時刻歴応答解析結果と、一般的に広く実施されている三軸圧縮試験から得られるせん断強度特性を用いた全応力法に基づく時刻歴応答解析を比較し、この全応力法に基づく耐震性能評価手法の妥当性を検証した。

第7章では、河川堤防の評価システムの構築として、本研究で得られた成果を用いて河川堤防の安全性に対する評価システムの提案を行った。この評価システムでは、現行の照査における課題を明確にし、本研究により得られた知見を踏まえたものとし、浸透に対する評価システムと地震に対する評価システムを各々構築した。あわせて、対策工の効果検証と防災対策を目的とした計測システムも提案した。

(論文審査の結果の要旨)

洪水、高潮などの氾濫を防止するために作られる河川堤防は近年河川沿岸の土地利用の向上と、河川氾濫区域内の人工および国民資産の増大とともに防災構造物としての重要性がますます高まっている。本研究は河川堤防の設計施工に関する地盤工学的諸問題について検討し、考察を加え、取りまとめたものである。従来、直感的な感と経験に頼って実施されてきた河川堤防の設計施工を科学的な資料の収集と検討結果に基づいて、合理的な土木技術として体系づけ、実施の整備計画に反映させ、役立たせようと提案したものである。本論文の主な内容は以下のとおりである。

- (1) 現行の河川堤防設計における浸透に対する安全性評価手法、地震に対する安全性評価手法における問題点を抽出し、これら問題点に対する本研究での課題を明らかにし、それぞれについて評価手法の着目点を明らかにしている。
- (2) 現場透水試験機の開発では、締め固めた地盤の透水試験を作成し、締め固めた地盤の透水試験を行う必要性和有用性を明確にしている。
- (3) 三軸試験での試験条件の研究では、中間土であるシルト質砂の強度評価における載荷速度の影響、礫混じり砂の強度評価に着目した研究を実施しており、中間土および礫混じり砂における、最適な試験方法の提案を行っている。
- (4) 降雨・洪水を外力とした応力-浸透連成解析手法の開発では、従来の安全性評価手法において、土を土粒子と間隙水の二相混合体として取り扱い、不飽和領域における浸透特性を取り入れた応力-浸透連成解析の開発を行った。また、同時に合理的なパラメータの設定法および境界条件（特に、降雨境界）の与え方について提案を行っている。
- (5) 本研究で開発した応力-浸透連成解析手法の妥当性検証として、福井豪雨における足羽川の破堤を対象として、この破堤のメカニズムの検討を行っている。破堤のメカニズムについては、越水による洗掘と浸透による堤体の脆弱性等が堤体表層部を脆弱化させ洗掘と同時にすべり破壊、崩落が発生し、これらが複合的に進行することにより破堤に至ったことを明らかにしている。
- (6) 地震時における河川堤防の安全性評価手法の研究では、現行の静的照査法における問題点を明らかにし、解析に用いるパラメータが比較的容易となる全応力解析手法を適用した照査方法を提案し、その妥当性の確認を行っている。
- (7) 河川堤防の耐浸透・耐震に対する効率的かつ効果的な安全性評価を行うために、本研究で得られた知見を考慮した河川堤防評価システムの構築を行っている。

以上のように本論文は、今後の河川堤防における浸透、地震に対する安全性評価を効率的かつ効果的に実現できることを示している。新たに提案した地盤調査手法、応力-浸透連成解析手法、液状化に対する全応力法による地震時時刻歴応答解析は、独自のシステムであり、これらにより、適切で有意な河川堤防の安全性評価が可能となることを明確にし、河川堤防分野における重要な貢献であるといえ、本分野の発展に関し、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年10月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。