

1. 気候変化等により激甚化する水災害を防止、軽減するための技術開発

研究期間：平成 23 年度～27 年度

プロジェクトリーダー：技術推進本部長 渡辺和弘

研究担当グループ：地質・地盤研究グループ（物理探査技術担当、地質、土質・振動）、水災害研究グループ

1. 研究の必要性

近年、局地的豪雨等により国内外において水災害が頻繁に発生しており、その原因として地球温暖化の影響が懸念されている。気候変動に関する政府間パネル第 4 次報告書によれば、水災害を引き起こす強い雨が降る頻度の上昇、台風の凶暴化およびそれに伴う高潮の激甚化等が予測されている。そのため、地球温暖化による気候変化が水災害に及ぼす影響について把握するとともに、Flash Flood に対応できる洪水予測技術の開発が求められている。

また、洪水災害を防御するためには、河川堤防の治水安全性を確保することが重要である。長大な構造物である河川堤防について迅速かつ効率的に対策を進めるには、河川堤防を堤体と地盤から成る複合的なシステムとして捉え、浸透安全性、耐震性を総合的に評価する技術の開発、および、より低コストで効果的な対策についての技術開発が必要とされている。

さらに計画規模や施設能力を超える大規模な洪水災害が発生した場合、その被害をできるだけ軽減することが極めて重要であり、洪水氾濫時の被害を軽減するための対策技術、水災害からの迅速な復興支援のための技術など河道・氾濫原の減災技術の研究が求められている。

2. 研究の範囲と達成目標

本プロジェクト研究では、地球温暖化に伴う気候変化の水災害への影響評価、短時間急激増水に対応できる洪水予測技術、堤防の浸透安全性および液状化を含む耐震性の評価技術および対策技術に関する研究を実施し、地球温暖化に伴う気象変化の影響に対する合理的な治水対策の策定や激甚化する水災害の被害の軽減に貢献することを目的として、以下の達成目標を設定した。

- (1) 地球温暖化が洪水・湧水流出特性に与える影響の予測手法を提案し、短時間急激増水に対応できる洪水予測技術を開発する。
- (2) 堤防の浸透安全性および耐震性を評価する技術を提案し、効果的効率的な堤防強化対策技術を開発する。
- (3) 途上国における水災害リスクの軽減を支援する手法を提案する。（平成 24 年度以降に実施の予定）。

3. 個別課題の構成

本プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・湧水流出特性に与える影響に関する研究（平成 23～27 年度）
- (2) 短時間急激増水に対応できる洪水予測に関する研究（平成 23～27 年度）
- (3) 堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究（平成 23～27 年度）
- (4) 河川堤防の浸透・地震複合対策技術の開発（平成 23～27 年度）
- (5) 水災害からの復興までを考慮したリスク軽減手法に関する研究（平成 24 年度以降実施の予定）

このうち、平成 23 年度は(1)、(2)、(3)、(4)の 4 課題を実施している。

4. 研究の成果

1. 気候変化等により激甚化する水災害 を防止、軽減するための技術開発

本プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成 23 年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

(1) 不確実性を考慮した地球温暖化が洪水・渇水流出特性に与える影響に関する研究

本研究では、気象研究所が開発した水平空間解像度約 20km の全球大気気候モデル MRI-AGCM3.1S および同 3.2S に対して、バイアス補正による現在気候の降水量の再現を試みるとともに、約 60km の解像度をもつ MRI-AGCM3.2H にバイアス補正手法を適用することにより、観測データの解像度 20km にダウンスケールした。また、洪水流出特性変化の検討として、ネパールの西ラプティ川を対象に、解像度 20km の MRI-AGCM3.1S、3.2S による降水量を流出モデルに与え、流出解析を行った。

解像度が約 20 km の全球大気気候モデル MRI-AGCM3.1S、同 3.2S にはバイアスが含まれており、これを補正することにより、現在気候において観測と同レベルの年および月平均降水量や極端に強い降水量が得られた。また、解像度 60 km の MRI-AGCM3.2H にバイアス補正手法を応用することにより、20 km 版の MRI-AGCM3.2S と非常に近い予測結果を得た。しかし、今回の検討では非常に限られた気候モデル予測結果を用いているため、今後はより多くの研究機関の気候モデルの出力データを解析することによって、様々な不確実性を考慮した降水量の将来予測の検討が必要である。

ネパール西ラプティ川を対象とした洪水流出特性の検討では、MRI-AGCM3.1S および同 3.2S による降水予測データを用いて洪水流出解析を行い、洪水流出量について極値解析をすることで極端洪水のピーク流量変化を検討した。閾値を 1500m³/s に設定すると、将来において確率流量や閾値超過回数が現在よりも増加することがわかったが、MRI-AGCM3.1S・3.2S 両モデル間、また流出モデルのモデル定数セット間で近未来・21 世紀末の増加の傾向が異なることも明らかとなった。このことから、流出モデルの不確実性に加え、気候変動の将来予測の不確実性の影響を大きく受けていることが窺える。今後は他の GCM とも比較し、不確実性の検討と将来予測評価手法の検討が必要であると考えられる。

(2) 短時間急激増水に対応できる洪水予測に関する研究

本研究は、発展途上国における降雨の時空間分布を予測・把握し、その情報をもとに降雨流出から洪水氾濫までを一体的に予測することを目的とした。

パキスタンのカブール川における 2010 年洪水に対して、数値気象予報モデルのダウンスケーリングを実施し、その再現性を確認した。さらに、アンサンブル流出氾濫予測をすることにより、信頼性情報を含めた洪水予測の検討を行った。その結果、WRF によってダウンスケールすることにより、流出予測の精度が向上することを確認するとともに、氾濫危険度予測の確度が高まることが明らかになった。

また、ソロ川における検証では、モンスーン性の気象パターンを WRF がある程度再現できて、その流域平均雨量の時系列パターンも概ね妥当に再現できることを確認した。その一方で、積乱対流に伴う豪雨イベントについては、高強度の降雨分布を正しく再現できないことがあった。熱帯性の降雨を WRF で再現・予測し、流出から氾濫までを一体的に予測するためには、今後さらなる検討が必要である。

タイ・チャオプラヤ川においては、衛星情報を最大限に利用した緊急対応の広域洪水予測を実施した。さらに、洪水収束後に実施した詳細な再現計算と比較しながら、緊急対応で予測できること・できないことを議論するとともに、広域の降雨流出氾濫予測の可能性とその限界を論じた。今回のタイ洪水の緊急対応シミュレーションによって、限られた情報から河川流量と広域氾濫を迅速かつ的確に予測する新たな予測情報の創出の可能性を示すことができた。

今後も他の気候帯や異なる水文特性を有する流域を対象にしながら WRF モデルによるダウンスケーリングとその予測情報を用いた降雨流出氾濫予測を実施し、発展途上国における短時間急激増水の洪水被害軽減に結び付く方法論の提案とその精度検証を行っていく予定である。

(3) 堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究 ①

本研究は、堤防を構成する土堤、構造物周辺堤防、基礎地盤について、従来個別に検討してきたものを一連のシステムとして捉え、浸透安全性・耐震性を評価する技術を提案することを目的としている。平成 23 年度は、2011 年東北地方太平洋沖地震において見られた堤体液状化についての被災事例分析、および浸透安全性評価に影響を及ぼす土質定数設定の基礎的検討を実施した。その結果、つぎのことが明らかになった。

- ・堤体下部に形成された飽和域が存在することが堤体の液状化を生じさせる素因であるが、その形成過程としては、①軟弱粘性土地盤の圧密沈下によるもの、②旧湖沼・旧河道の埋立てによるもの、③平常時の河川水位が高いことによるもの、の 3 つのパターンが見られた。

- ・被災程度を沈下率 S/H (S : 沈下量、 H : 堤防高さ) で定量化し、これと堤防諸元の関係を分析した結果、①のり勾配が 4 割を超えると天端の沈下率 S/H (S : 沈下量、 H : 堤防高さ) が急激に小さくなること、変状を生じた堤体下部の土質はれき分をほとんど含まない砂質土～細粒土が大半であり、その物理特性の範囲は細粒分含有率 $FC \leq 35\%$ または塑性指数 $IP \leq 20$ の範囲にあること、③堤体下部の飽和層厚 $H_{sat} < 1m$ かつ $H_{sat}/H < 0.24$ の場合は堤体液状化による顕著な被害が生じていないことが明らかとなった。

- ・2011 年東北地方太平洋沖地震の被災事例調査の成果は、平成 24 年 2 月に国土交通省水管理・国土保全局治水課より通知された「河川構造物の耐震性能照査指針・解説」7)8)および「レベル 2 地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」9)の改訂にあたって反映された。

- ・砂質土堤防の円弧すべり安定計算に使用するせん断強度を検討するため、低拘束圧の CUB 試験および堤防模型を用いた浸透破壊実験を行った結果、CUB 試験より、実際の堤防で想定される低拘束圧領域を考慮することで、より適切にせん断強度を評価できる可能性が示された。

(4) 堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究 ②

本研究では、基礎地盤の浸透安全性の評価について検討を行うことを目的に、本年度は、複雑な構造を持つ基礎地盤を効率的かつ詳細に把握するための基礎として、河川周辺の微地形と基礎地盤の土質との関係について調査を行い、河川蛇行域のボーリングコア観察の基本となる代表的な堆積相を記載した。

まず、ボーリングデータベースと荒川・小貝川地形分類図(GIS)の重ね合わせにより微地形と土質との関係を整理した。その結果、堆積物の粒径はどの微地形種でも小貝川の方が荒川より粗粒な傾向にあった。また、同一河川で微地形形種間を比べると、おおむね河道に近い所に発達する微地形種ほど粗粒な傾向がみられた。今後は取得したデータの抽出方法を吟味するとともに地形や地質と N 値との関係などを含めて検討を深める予定である。

さらに、荒川中流域のボーリングコアを用い、蛇行河川域のコア観察の基本となる代表的な堆積相を記載した。その結果、河川周辺の堆積相を 5 つに区分した。今後、堆積相と地盤の工学的性質との関係を明らかにすることにより、基盤漏水対策工の範囲をより適切に設定できるようになるものと考えられる。

(5) 堤防システムの浸透安全性・耐震性評価技術に関する研究 ③

本研究では、実際に東日本大震災で被災した堤防区間に統合物理探査を適用し、被災区間の物性を明らかにするとともに、地盤調査データを収集してそれらと対比し、被災区間の物性的特徴と被災のメカニズムを明らかにすることによって統合物理探査技術による堤防の耐震機能の評価という課題への適用性について検討した。

関東地方において、震災以前に統合物理探査を適用していた 5 河川 9 堤防区間で、統合物理探査による再計測を実施したところ、同手法によって被災区間を物的に特徴づけられることがわかった。

これらを含め、23 年度内に 11 堤防区間で統合物理探査を適用し、地震被災箇所の詳細イメージングとその物性的特徴に基づく被災のメカニズムの解明を試みた。その結果、被災箇所の基礎地盤の多くが低 S 波速度かつ低比抵抗で特徴づけられること、被災箇所の多くが旧河道や樋管横断部に位置しており、その場合堤体部が他の箇所と異なる特徴的な物性構造を有していること、が明らかになった。土木研究所において開発・実用化を進めてきた統合物理探査技術は、当初浸透に対する弱点箇所の効率的把握を目的としていたが、地震後の損傷の有無の把握、さらには耐震性の評価にも有効であることがわかった。

(6) 河川堤防の浸透・地震複合対策技術の開発

本研究は、堤防の質的向上に迅速かつ効率的に対応するため、浸透対策のコストダウンや効果的な地震対策、洪水と地震の対策を両立させる複合対策について提案することを目的としている。平成 23 年度は、堤体の液状化対策および洪水時の揚圧力対策について模型実験で検討するとともに、浸透対策を実施している箇所での現地モニタリングを実施した。その結果、つぎのことが明らかになった。

- ・堤体の液状化対策として、川裏側にドレーン工、川表側に押え盛土を一定の規模で設けることで対策効果が得られることが確認されたが、堤体内水位の設定、粘性土層のせん断強度の設定を見直すことで、対策規模をさらに合理化できる可能性があると考えられる。

- ・この実験により得られた知見に基づき、堤体の液状化に対する標準的な対策工法を提案し、その成果は、平成 24 年 2 月に国土交通省水管理・国土保全局治水課より通知された「河川堤防の耐震対策マニュアル（暫定版）」に反映された。

- ・九州地方整備局管内の城原川と始良川において、浸透対策を実施した箇所を対象に、堤体内水位の現地モニタリングを実施した。その結果、城原川においては、遮水矢板と遮水シートを併用により、堤体内水位低下効果が得られた。一方、始良川においては、観測期間中に有意な出水が生じなかった。現地モニタリングは、平成 24 年度以降も引き続き実施する予定である。

- ・河川堤防の揚圧力対策として、排水機能付き矢板、透水トレンチ（堤体外、堤体のり尻直下）の効果を模型実験により検証した。堤防高さ 1.25m の模型実験の結果、のり尻部の揚圧力は排水機能付き矢板により無対策時の 7 割以上低減、透水トレンチにより無対策時の 6 割以上低減した。また、実験結果を飽和・不飽和非定常浸透流解析により再現し、実験で使用した排水機能付き矢板の排水部材の透水係数を二次元換算で $k_s=1.0 \times 100\text{cm/sec}$ 程度、透水トレンチの透水係数を $k_s=1.0 \times 10^{-1}\text{cm/sec}$ 程度と推定した。

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT ON PREVENTION AND MITIGATION OF INTENSIFYING WATER DISASTERS DUE TO CLIMATE CHANGE

Research Period : FY2011-2015

Project Leader : Director of Construction Technology Research Department
KAZUHIRO Watanabe

Research Group : Geology and Geotechnical Research Group (Geophysical Exploration,
geology ,and Soil Mechanics and Dynamics),
Water-related Hazard Research Group

Abstract : Frequent local heavy rains have occurred recently in and outside of Japan. Therefore, development of technology for forecasting the effects of global warming with consideration for the uncertainties of flood and drought, as well as development of flood forecasting technology that can respond to short-term rapid swollen water (flash floods) in developing countries are desired.

In order to protect against flood disasters, it is important to ensure the safety of river levees. Rapid and efficient implementation of countermeasures for gigantic river levees requires the development of levee reinforcing technologies. This includes the development of techniques that closely examine penetration safety and seismic adequacy with full consideration for levees, peripheral levees around structures and foundation ground, as well as low-cost penetration countermeasures and effective earthquake countermeasures.

The importance is that damage from flood disasters is minimized as much as possible, therefore research and development of supporting technologies for mitigating the risks of water disasters in developing countries are necessary.

This priority project research is aimed at contributing to the planning, by implementing these studies, of adaptive flood control measures for countering the effects of climate change associated with global warming, and to the mitigation of damage from intensifying water disasters.

Key words : climate change, flood runoff analysis, probable discharge, flood prediction, downscaling, Chao Phraya River, levee, liquefaction inside embankment, seepage, boring database, landform classification map, Integrated geophysical investigation, vulnerability assessment, countermeasure for liquefaction, countermeasure for underseepage, the 2011 Great East Japan Earthquake,