C

都市デザイン工学科
Department of Civil Engineering and Urban Design

研究室　防災水工学研究室　教員名　東　良慶　カテゴリー　建築・土木・社会基盤

水害地形環境の高解像度評価に関する研究
―土地のなりたちをふまえた氾濫原マネジメントへの適用

1 はじめに：水害地形環境とは

本研究テーマでは，複数種の災害の被害が相互に関係するマルチハザードの観点から，水害安全地帯である自然堤防域（破堤堆積層）の地盤変状リスクを高精度に同定する方法を開発します．具体的には、その地形の形成（堆積）過程を復元し，液状化、地盤変状のリスク評価を行います．

近年、河川の治水計画規模を超える超過洪水が頻発しています（例えば、2012 年・2017 年九州北部豪雨、2015 年鬼怒川水害等）．このような水災害の激甚化を鑑み，また，2005 年の水防法改正にともない，洪水ハザードマップを作成し，流域住民に周知することが治水対策の眼目の一つになっています．しかし，避難を主題とするハザードマップの多くにおいては，浸水時の水深に主眼がおかれ，洪水発生の素因となりうる旧河道や破堤地形などの微地形，すなわち水害地形は十分には考慮されておらず，破堤，氾濫想定地点については言及されていないのが現状です（図 -1）．

図 -1　2015 年に発生した鬼怒川堤防決壊地点（左岸 21.0k）における空中写真（撮影日:2015 年 9 月 12 日 © 国土地理院）

破堤地形・旧河道・自然堤防などの水害地形は，その流域の洪水の歴史的所産と言えます．洪水特性は流域の地形形成過程と密接な関係にあるため，極端に変化することはありません．よって，流域の低平地では歴史的な住宅（本家）は微高地（自然堤防）上に立地しており，水害からの被害を低減する方策を取っています．一例として，鬼怒川流域の治水地形分類図を図 -2 に示します．

しかし、このような地域における歴史的な減災方策は経験則（言い伝え等）にもとづくものであり、物理的な理論、確証に視座が置かれていません．このような観点から，水害地形環境の質を物理的な諸量にもとづき，精度高く同定する方法が重要になります．

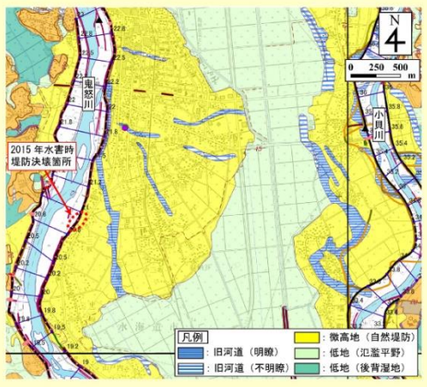

図 -2　鬼怒川中流域の治水地形分類図：背景地図における建物が微高地上に立地していることがわかる．

2 自然堤防域の液状化被害

2016 年 4 月に発生した熊本地震では，人工的に造成された盛土に対し，選択的に地震被害が発生していることが観察されました（図 -3）．また、液状化による埋設管の浮上等についても報告されています（図 -4）．一方、熊本県益城町における被害建物の分布状況を治水地形分類図に重合わせ観察すると、ある意外な特徴に気が付きます。それは自然堤防域（洪水堆積物層）に立地する建物に被害が大きいことです（図 -5）．

図 -3　2016 年熊本地震における人工改変地盤の被害状況

図 -4　2016 年熊本地震における液状化現象により地中に埋設された消火栓が浮上ったようす（© 一般財団法人消防防災科学センター）

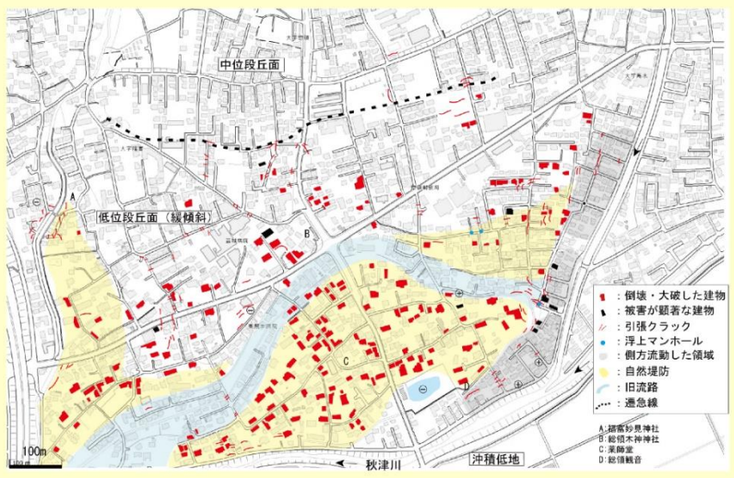

図 -5　2016 年熊本地震による益城町における被害建物の分布状況（釜井教授（京大防災研）の現地調査結果と治水地形分類との GIS による重合わせ）

自然堤防は一般的に低平地（氾濫原）に形成され，砂質堆積物によって構成されます．また，周辺の泥質低平地に比べて微かに高い微高地であるため，水はけが良く，水害安全地帯として歴史的に宅地として重用されてきました．これが家制度の「本家」が自然堤防上に立地する所以です．地震被害についても，周辺の泥質低平地の方が軟弱地盤であり液状化リスクが高いとされています．しかし，益城町の秋津川流域では，自然堤防域の建物に被害が集中し（「本家災害」），旧河道域（軟弱地盤）は比較的被害が小さくなりました（図 -5）．

我が国では多くの市街地において上記のような土地利用がなされており，水害安全地帯（自然堤防域）の地震被害，すなわち「本家災害」のリスクを有していることを意味します．したがって，水害安全地帯の液状化リスクを物理的に同定・評価する方法論が非常に重要であると考えられます．

3 水害地形の物理探査による同定

自然堤防・旧河道・破堤地形などの水害地形は，その流域の洪水の痕跡であり，治水対策の最重要箇所です．しかし，現在の洪水ハザードマップは，浸水深が最も深いケースが示されているだけで，破堤箇所等の情報は表示されていません．破堤箇所が異なると，氾濫状況も著しく変化します．実際に避難行程を考える際には，その情報の信頼性には疑問が残ります．

また、洪水氾濫時に発生する大規模な堆積物移動，すなわち，水害地形の形成過程に関するダイナミクスについてはほとんどわかっていません．実際の洪水イベント堆積過程を観測することはほぼ不可能であり，唯一の解明の手がかりは地層中の堆積構造を同定することです．近年，物理探査法の進展により，非破壊で堆積構造の計測が可能になってきています．したがって，水害地形の災害リスクを物理的な指標にもとづき，定量的に評価し，ハザードマップに反映することが求められています．

本研究テーマでは，まず，治水地形分類図，古地形図，古絵図（中世から現在まで）をデジタル化します．また，ボーリング調査データベースや遺跡調査（トレンチ調査）結果などから堆積層情報を抽出し，これらを GIS（地理情報システム）で統合解析することにより，過去 300 ～ 400 年間の洪水氾濫履歴を探ります．

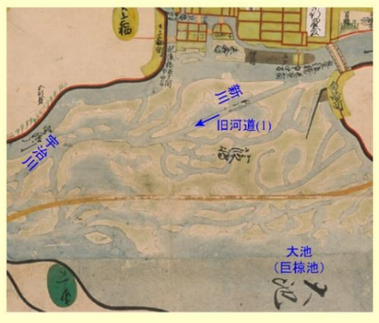

図 -6　宇治川 43.0 km地点付近の絵図（山城国水系図の一部を抜粋；1700 年代初頭のようすが描かれている）

下記の GIS 解析結果から，非破壊物理探査を実施するターゲットを選定し，高機動性の OhmMapper（牽引式電気探査手法、図 -7）により，平面的な堆積環境を物理的に同定します（点情報から面的情報に展開、図-8）．これにより、洪水堆積物（礫・砂質）の位置を推定・同定します．推定された洪水堆積層について，表面波探査を実施し（図 -9），鉛直断面の堆積環境を同定します（図 -10）．これらの結果とボーリング調査データを総合し，水害地形（洪水堆積物）の 3 次元の堆積環境を復元することが可能になります．

図 -7　電気探査の発信機と受信アンテナからなる観測アレイをバイクで牽引しているようす

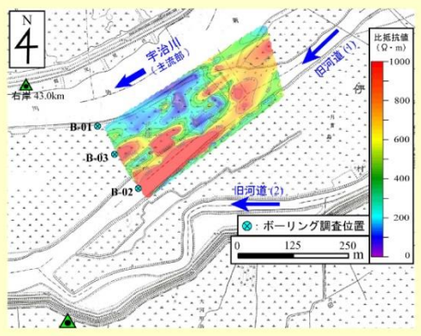

図 -8　OhmMapper による比抵抗値コンターと古地形図との重合わせ（暖色域;高比抵抗値で硬質土（自然堤防や破堤堆積物の存在を推察）、寒色域：低比抵抗値で軟質土（旧河道等の存在を推察））

図 -9　ランドストリーマー式高機動浅部表面波探査システム（応用地質社製）

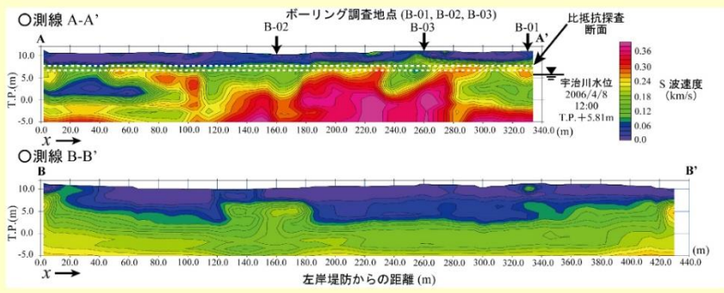

図 -10　浅部表面波探査による洪水堆積物層の S 波速度構造（暖色域；高比抵抗値で硬質土（自然堤防や破堤堆積物の存在を推察）、寒色域：低比抵抗値で軟質土（旧河道等の存在を推察））

4 デジタル水害地形環境表現

堆積物を高濃度に含む流体のレオロジーを記述し得る学問体系は発展途上にあります．特に，非線形多相系ダイナミクスの帰結である水害地形の形成過程（図 -11）を復元し得る解析モデルはほとんど報告されていません．本研究テーマでは，流体力学，土質力学，堆積学アプローチを融合した堆積物輸送／堆積相解析コードを開発します．

また、埋没水害地形を物理的に同定し，流域の水害特性（河道変遷・洪水履歴），さらには，地震災害による被害（地盤の変状，液状化等）も併せて評価します．このようなデジタル水害地形環境表現によるマルチハザードリスク評価は，流域の複合災害対策の根幹となるものであり，将来のまちづくりや土地利用計画とも密接に関わるもので、開発が期待されます．

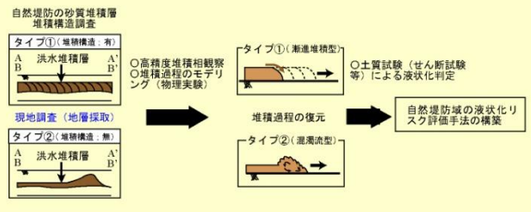

図 -11　自然堤防堆積層（洪水堆積層）の形成過程の復元および物理諸量の同定（液状化リスクの評価）プロセス