

手賀沼水害危険地域の変遷と市街地構造による 対策の検討

ANALYSIS OF FLOOD RISK TRANSITION AND MEASURES USING URBAN CONTEXTURE AROUND LAKE TEGA

吉田翔¹・黄光偉²・磯部雅彦³
Sho YOSHIDA, G.W. Huang and Masahiko ISOBE

¹ 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

² 正会員 工博 東京大学准教授 大学院新領域創成科学研究科 (〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

³ フェロー 工博 東京大学教授 大学院新領域創成科学研究科 (〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

In this study, the transition of flood inundation characteristics around Lake Tega was analyzed by numerical simulations using the data which were constructed by digitizing the old maps. Then, the flood countermeasures considering the urban contexture were discussed.

It was shown clearly that flood water depth was polarized resulting from land-use changes around the lake. Therefore, any urban flood measures should take this change into consideration. In this work, we propose to use roads and buildings to control flood waters. Numerical experiments indicated that inundation depths could be reduced and the arrival of flood waters could be delayed by using those structural measures.

Key Words : *flood risk transition, digitizing data, numerical simulation, urban contexture
Lake Tega, roads*

1. 背景と目的

高度成長期以降, 人口増加によって災害に対し脆弱な都市が生まれた。しかし近年その傾向が弱まり, 災害に対する安全性に配慮して都市を再構築できる可能性が増している。将来的には空洞化等の新たな問題も予想される。縮小する都市に対して, 新たなマネジメント手法が求められている。地震対策の分野では再開発手法を用いて, 災害対策の実現と地域の活性化を同時に達成した例が存在するが, 水害対策を目的として, 地域の再編を検討した例は少ない。

都市と水害についての既往の研究では, モデルの精度向上について検討したものが最も多くみられる。一般極座標系モデルについての検討¹⁾ や構造物評価の実験²⁾, 下水道の評価³⁾, 統合型モデル⁴⁾ ⁵⁾, 氾濫場のモデル改良⁶⁾ などがある。また, 治水事業によらない市街地構造を用いた水害対策を検討する例も存在する。スーパー堤防上の市街地構造による氾濫流制御⁷⁾ や道路を用いた氾濫水の誘導についての検討⁸⁾ などがある。しかしこれ

らの研究では, その市街地の形成過程から生じる水害特性等については考慮せず, もっぱら氾濫流の制御に焦点をあてたものが多い。

前述のような市街地再編の可能性を考慮すると, モデルの精度検証にとどまらず, そのモデルを適用し, 実際の市街地構造から水害抑制について検討する研究が求められていると考えられる。また, 市街地構造による対策においては, 氾濫流の力学ばかりに着目して検討するのではなく, 市街地自体が過去から有している潜在的な氾濫特性や, 現状での社会的な問題にも目を向けるべきである。

本研究では, 研究対象地域に対して, まず現在までの水害危険性の変遷を分析し, 地域のもつ水害特性について考察した。その上で, 氾濫場に存在する人工構造物の空間平均的な抵抗力を加味したモデルの改造を行い, そのモデルを適用して, 市街地構造特性を利用した対策の効果のシミュレーションを行った。その際, 高齢化や空洞化などの地域の社会的な背景を踏まえた対策となるよう配慮した。

2. 研究対象地域

研究対象地域は千葉県北西部の手賀沼とした。手賀沼周辺は、水害の常襲地帯であった。特に沼の貯留機能から、一度洪水で水が溢れると長期間にわたり浸水してしまうという特徴がある。昭和13年や昭和16年の手賀沼大洪水では、すべての氾濫水が排水されるのに2カ月を要した⁹⁾。こうした排水の問題を解決するため、排水機場の建設や堤防の構築が進み、外水氾濫に対する安全性は向上した。その結果内陸での内水被害を除いて水害は激減した。しかし、小規模ながら依然として水害は発生しており、昭和56年出水時には、床上浸水や道路冠水が発生した。また、沼周辺の市街化や、干拓に伴う沼の貯水容量の減少等、沼を取り巻く環境が変化し、水害の拡大が懸念されている¹⁰⁾。

本研究では過去に浸水被害のあった4つの対象領域を設定した。現状では若松地区の沿岸部を除いて100年に一度の洪水においても氾濫を防ぐことができる。未整備区間を合わせると、30年に一度の洪水に対処できる。

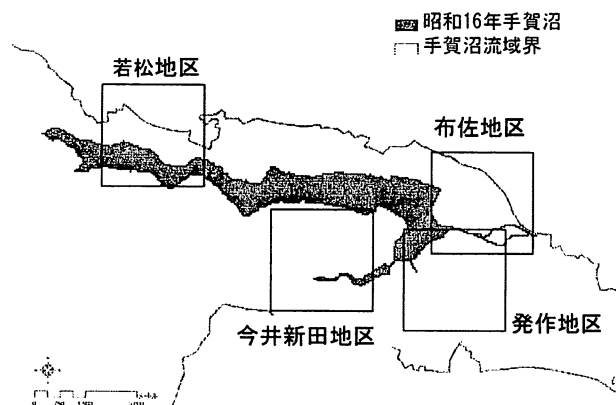


図-1 手賀沼と計算領域

3. 氾濫解析の概要

(1) 氾濫解析モデル

洪水氾濫解析では、越流後の氾濫流の挙動に焦点を当て、デカルト座標系二次元不定流モデルを用いることとした。デカルト座標系二次元不定流モデルは、既存の水害ハザードマップ作成において最もよく利用されている¹¹⁾。非構造格子モデルは複雑な地形を忠実に表現することが可能ですが、家屋形状や道路などの都市構造物の詳細情報が不十分な場合、非構造格子モデルの長所を十分に生かせないと考えられるので、本研究では、デカルト座標系モデルを用いた。

二次元不定流モデル基礎式は以下のとおりである。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\text{運動式}(x) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 M) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 M) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\text{運動式}(y) \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_0 N) + \frac{\partial}{\partial y}(v_0 N) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

ここで、 τ_{bx} 、 τ_{by} : xおよびy方向の抵抗力、 u 、 v : xおよびy方向の平均流速、 g : 重力加速度、 ρ : 密度、 h : 水深、また $M=uh$ 、 $N=vh$ である。

氾濫原の情報は、標高と粗度のデータを用いた。データ源は1/25,000地形図あるいは電子データである。地形図は1928年、1949年、1967年、1991年に測量された各地図をスキャンしてGISに取り込み、まず等高線をデジタル化し、空間補間を行って10mメッシュの標高データを作成した。粗度の設定に必要な土地利用データについては、地図記号を読み取って作成した。これらのデータを10mメッシュのデータセット(DS)としてまとめた。電子データは、数値地図50mメッシュ標高と10mメッシュ細密数値情報土地利用を用いた。市街地構造対策の検討では、都市計画図基本図の0.1m精度の標高データを、ポイントデータとしてデジタル化し、空間補間を行って利用した。



図-2 1928年DSの土地利用

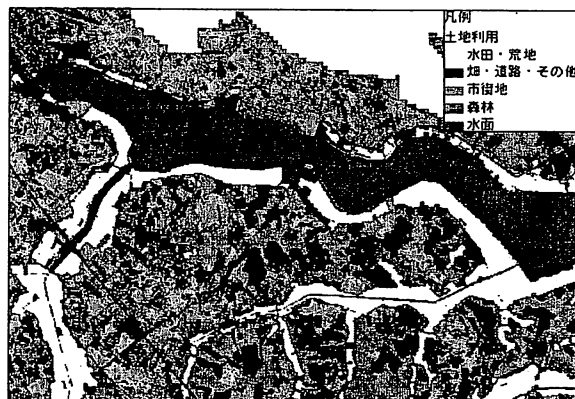


図-3 電子DSの土地利用

粗度係数は、以下表-1のような値を設定した。

表-1 粗度係数

番号	名称	粗度係数
1	水田	0.025
2	畑・その他	
5	水面	
3	市街地	0.067
4	山林	0.1
-	道路(建物考慮時)	0.043

(2) 計算概要

本研究では、以下のように氾濫解析を行った。すべての計算に共通して、沼の水位を洪水による大規模な被害の発生した昭和16年7月の手賀沼の水位(Y.P+5.0m)に設定した。

計算①：手賀沼沿岸の水害危険度について、その地域的な特徴を捉えるため、1928年DSと電子DS(現在の地形)のみを用いて、布佐地区、発作地区、今井新田地区、若松地区で計算を行った。

計算②：水害危険度の変化をより詳細に捉えるため、1928年DSの他に1949年DS、1967年DS、1991年DSを用いて、若松地区で計算を行った。計算条件は計算①と同様である。

計算③：市街地構造対策について検討するため、市街地内の街路やオープンスペースの標高、建物の配置を変化させて、若松地区で計算を行った。

計算①の際には、各地区についてその特徴を捉えるため、浸水域がどのくらい増えたか(浸水域増加率)、どのくらいの割合で同じ場所が浸水したか(重複浸水域割合)、電子DSで新たに出現した市街地のうちどれくらいの割合で浸水が発生したか(浸水域進出割合)を計算した。地形改変や市街化の激しかった若松地区については、空間的な浸水深分布のほか、氾濫水が到達する時間、浸水域の土地利用についても算出した。

計算②の際には、最大浸水深や平均浸水深のほか、浸水深の小さかった地域(1.0m未満)や、浸水域の大きかった地域(2.0m以上)について算出した。

計算③の際には、各対策による浸水面積、最大浸水深、平均浸水深の変化を算出した。また、浸水域内の氾濫水到達時間を計算した。

4. 計算結果と考察

(1) 計算①の結果と考察

前章述べた浸水域増加率と重複浸水域割合、浸水域進出割合を、越流開始1時間後と6時間後について、図-4と図-5に示した。6時間後になると、現在と1928年共に氾

濫水がほぼ平衡状態に達し、氾濫がそれ以上進まなくなる。浸水域増加率は、1時間後と6時間後の布佐地区、発作地区、若松地区で負の値を示したため、浸水区域が減少したことが分かった。同時に高い重複率から浸水する地域はさほど変化していないことが確認できた。今井新田地区は、負の浸水域増加率を示しているものの、その値は小さく、同じく重複率も小さいことから、浸水域が小さくなったが、浸水する場所自体も変化していたことが分かった。6時間後の若松地区では、特に浸水域増加率が小さく、重複浸水域割合が高いので、浸水する場所と規模が同程度であったことが分かった。若松地区は崖に囲まれた場所に位置していることから、浸水被害を受ける場所は特定の場所に限定され、長時間の越流に対しては1928年DSによる計算と同じ場所が被害を受けたと言える。

浸水域への市街地の進出状況(浸水域進出割合)をみると、若松地区で特に顕著な変化が見られた。1時間後の結果では2%程度であったのが、6時間後の結果では約6%に達している。このことから、若松地区では、長期的な越流が発生した場合に、他の地区と比べて新規市街地における浸水が発生しやすいことが分かった。若松地区における浸水深空間分布の変遷は図6と7に示した。

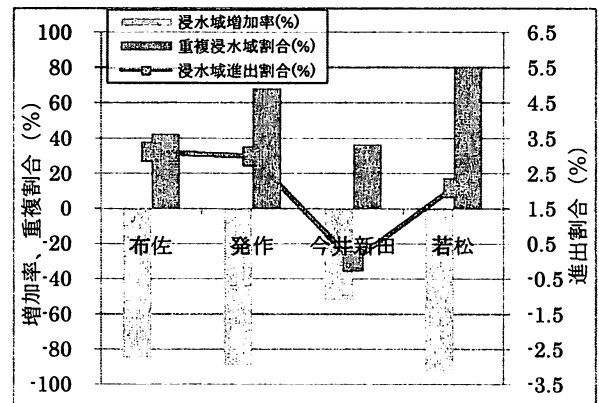


図-4 越流開始1時間後の浸水域増加率、重複浸水域割合、浸水域進出割合

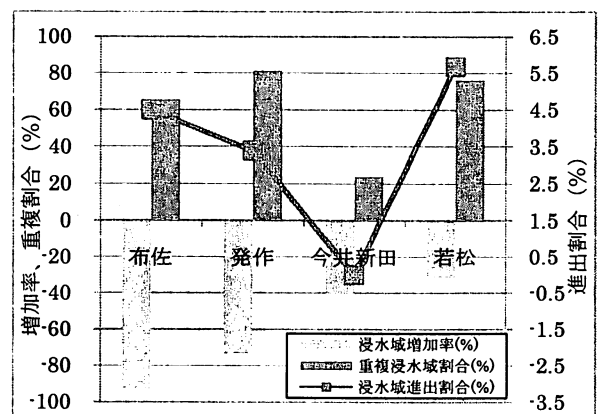


図-5 越流開始6時間後の浸水域増加率、重複浸水域割合、浸水域進出割合

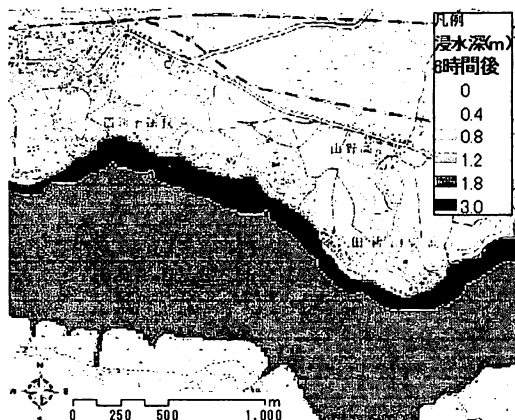


図-6 若松地区 3時間後浸水深 (1928年DS)

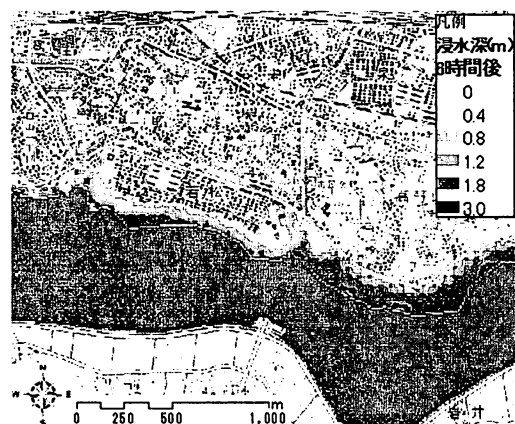


図-7 若松地区 3時間後浸水深 (電子DS)

若松地区の、浸水域における土地利用の変化を算出した結果を図-8に示す。1928年DSによる計算では、6時間後に浸水していた地域の土地利用はほぼ全域で水田であったが、現在では畑、道路や市街地へと変化があった。次に氾濫水の到達時間を算出した結果を図-9に示した。1928年DSによる計算では、15分後に到達する地域はわずか1%であるが、電子DSでは10%に達している。

以上のことから若松地区では、水害危険度は変化していないにもかかわらず市街化が進行し、その結果到達時間が短縮するという危険度の増大が起きたことがわかった。

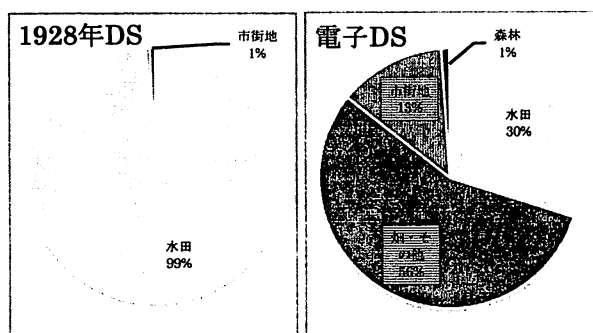


図-8 若松地区 6時間後浸水地域土地利用割合

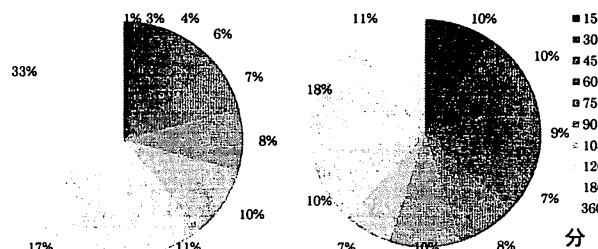


図-9 若松地区 氾濫水到達時間(1928年DS:左, 電子DS:右)

(2) 計算②の結果と考察

計算②の結果得られた、若松地区の最大浸水深と平均浸水深を図-10に、また各データセットで浸水深の特に小さい地域(1.0m未満)と特に大きい地域(2.0m以上)の面積を図-11に示した。浸水深の最大値や平均値の増加とともに、浸水深の特に小さい地域の減少と特に大きい地域の増大という二極化が確認できた。しかし、この二極化の進行は一律に進んだのではなく、1967年DSより前の計算結果では、むしろ最大浸水深は小さくなり、空間的には浸水深の小さい地域が拡大するという、浸水深の平均化が進行していたことが分かった。この傾向が最近になって変化し、二極化という現象が生じたことが分かった。この変化は、1967年DSから1991年DSの時期にかけて確認できた。この時期は、若松地区内において干拓による沼の後退とともに、一部埋め立てによる大規模な宅地開発があった時期と一致する。宅地開発後の地形は、沼に向かって緩い勾配をもっているため、沼に沿って氾濫水が滞留し、浸水深の二極化を招いたと考えられる。

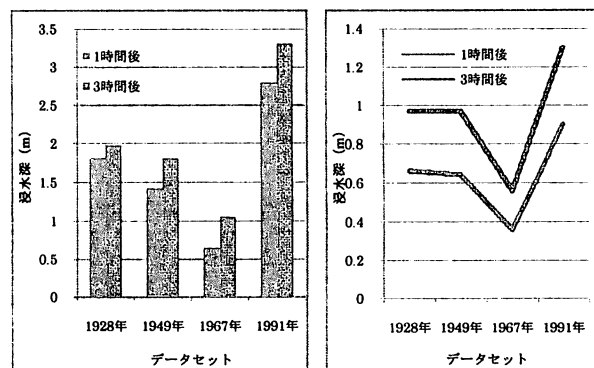


図-10 若松地区の最大浸水深(左)と平均浸水深(右)の変遷

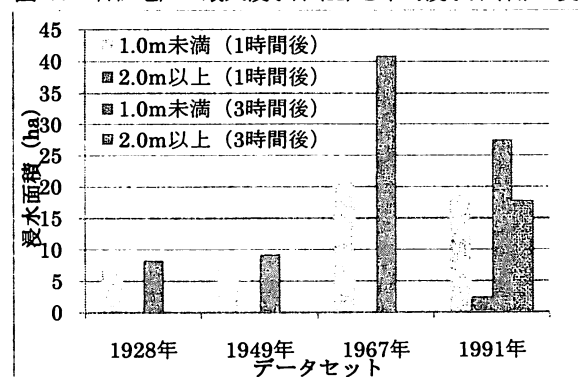


図-11 浸水深別浸水エリア面積

(3) 計算③の結果と考察

図-12に示すように、各市街地構造対策を検討した。

①氾濫水の誘導路

近年の手賀沼周辺における氾濫の特徴として導かれた、沼周辺部への氾濫流の集中という現象を活かして、氾濫流を誘導する誘導路を検討した。誘導路は現状地盤高より0.5m下げた。

②氾濫水誘導建物

若松地区に対し指定されている避難場所は、崖の上にある小学校であり、避難する際には、階段や急こう配の坂を登る必要がある。そのため高齢化する住民が容易に避難できないことが懸念される。こうした背景から、浸水する恐れの高い市街地内に避難場所を兼ねた高層の建物を想定した。その建物を氾濫水誘導路沿いに設置することで、氾濫水を誘導する機能を持たせた。

③氾濫水の貯留

誘導された氾濫水の貯留場所として、高校、公民館、団地の跡地を利用することとした。地盤高は1.0m下げた。

これら対策の効果を評価するため、誘導建物等の構造物を評価できるよう、氾濫場に存在する構造物の空間平均的な抵抗力を考慮できるモデルの改造を行った。氾濫原構造物のデータはZmapTown IIを用いた。

計算結果として、現状の浸水深分布図を図-13に、Case6を適用した場合の浸水深分布図を図-14示した。また各対策による諸数値の変化を浸水危険度として表2に示した。1時間後の結果から、すべての場合で今現在計画されている堤防かさ上げ(Y.P+4.5m) (Case2) よりも被害が小さくなった。誘導路のみで検討した場合 (Case3, 4)，誘導路に流れが集中し浸水面積が小さくなった。誘導路沿いの建物を除去 (Case5)，あるいは除去した後の拡幅された誘導路沿いに新たな誘導建物を建てる (Case6) と、誘導路のみの対策よりも浸水面積は大きくなった。しかし浸水深の最大値と平均値は小さくなった。誘導路が拡幅され氾濫水が誘導路に集中する傾向が弱まり、浸水深が均された結果と考えられる。こうした、空間的な被害軽減のほか、Case6において氾濫水の到達時間を観察したところ、氾濫水の貯留場所を除き、氾濫水の到達が遅くなるという効果が確認できた (図-15)。

Case6では、誘導路の拡幅を行う際、敷地を集約し、セットバックした建物として建て替えることで、建築基準法における前面道路による高さ規制の緩和措置を適用できる可能性がある (図-16)。この措置で床面積の上昇が見込まれる。特に空洞化の目立つ市街地において、開発を誘導して人口を維持しながら水害に強い市街地構造を形成することができる可能性があると言える。人口増加は水害の拡大に寄与する可能性もあるが、非常時の避難補助等について考えると、一定の人口は必要であり、

特に若松地区のような高齢化の進む地域では、こうした人口維持策を災害対策と同時に検討するべきである。

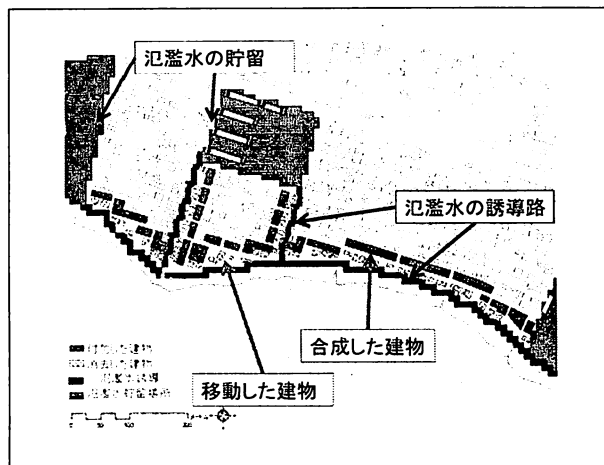


図-12 市街地構造による対策

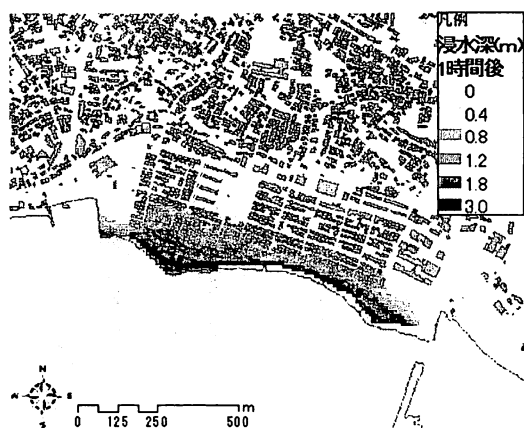


図-13 浸水深分布(現状)



図-14 浸水深分布(Case6)

表-2 各対策により予想される浸水危険度

番号	対策	面積(ha)	最大値(m)	平均値(m)
Case1	現状	1.34	1.829	0.50
Case2	堤防	6.59	4.278	0.94
Case3	誘導路(横)	1.13	1.635	0.50
Case4	誘導路 (横と縦)	1.04	1.609	0.51
Case5	Case4 +建物消去	1.17	1.573	0.48
Case6	Case5 +建物付加	1.17	1.574	0.47



図-15 現状との氾濫水到達時間の比較(Case6)

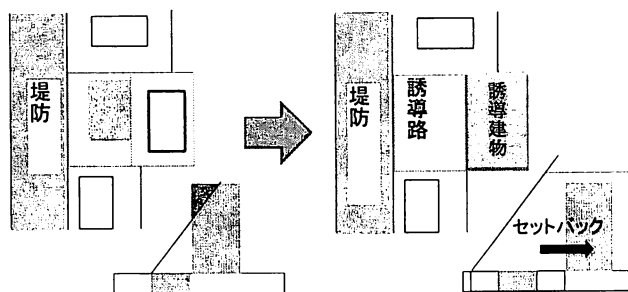


図-16 誘導建物とセットバック

5. まとめ

手賀沼水害危険度の変遷として、手賀沼沿岸の市街化が加速した我孫子市誕生以前は、手賀沼干拓に伴って氾濫原が拡大し、浸水深が平均化する傾向にあったことが分かった。しかし、市街化が活発になって以降、二極化と浸水域の縮小が確認された。その背景として、宅地化や埋め立てによる地形起伏の変化があることが分かった。

市街地構造による対策では、避難に影響する越流開始初期において、浸水域の縮小や最大浸水深の減少といった効果の他に、氾濫水の到達時間が遅くなるという効果

が確認された。都市計画制度を用いた実現手法の検討においては、局所的には有効性が確認されたが、広い地域に対し、一体的に行う「市街地再開発事業」のような施策における水害への対応が望まれる。

謝辞：本研究は東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号156)による成果であり以下のデータを利用した。ここに記して謝意を表します。

ZmapTown II (shape版) 千葉県

参考文献

- 1) 福岡捷二・川島幹雄・横山洋・水口雅教(1998)：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集，No.600/Ⅱ-44，pp.23-36.
- 2) 黄光偉・渡辺正明・泉宮尊司(2004)：都市域における洪水氾濫に関する実験的研究，河川技術論文集，第10巻，pp.227-232.
- 3) 谷岡康・福岡捷二(2003)：都市中小河川・下水道の連携した治水計画－台地部既成市街地を対象として－，土木学会論文集，No.733/Ⅱ-63，pp.21-35.
- 4) 間島真嗣・戸田圭一・大八木亮・井上和也(2005)：都市域の地上・地下空間を統合した浸水解析，水工学論文集，第49巻，pp.601-606.
- 5) 秋山壽一郎・重枝末玲(2006)：稼働特性と市街地構造を考慮した越水・氾濫破堤シミュレーション，水工学論文集，第50巻，pp.691-696.
- 6) 重枝末玲・秋山壽一郎(2004)：市街地構造を考慮した氾濫解析モデルの総合的な検証，水工学論文集，第48巻，pp.577-582.
- 7) 福岡捷二・松永宜夫・前内永敏(1993)：氾濫流解析にもとづく水害に強い沿川市街地構造に関する研究，東工大土木工学科研究報告，No.47，pp.21-31.
- 8) 黄光偉・磯部雅彦(2006)：「水のみち」による都市域水害軽減の提案，水工学論文集，第50巻，pp.571-576
- 9) 星野七郎(1986)：手賀沼の今昔，pp.259-265.
- 10) 中尾正巳(1986)：手賀沼周辺の水害－水と人とのたたかい400年－，我孫子市史叢書，pp.80-81，pp.222-223.
- 11) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室(1996)：土木研究所資料 氾濫シミュレーションマニュアル(案)－シミュレーションの手引き及び新モデルの検証－，pp.5-12，pp.128-130.

(2008. 4. 3受付)