

ホームページ掲載用

水害時機能継続を総合的に評価した 都市拠点整備の方法論の構築

Keywords: 浸水, 地下空間, BIM, アセットマネジメント, BCP

名古屋工業大学
大学院工学研究科
教授 秀島栄三

都市水害

- ・1999年 福岡駅地下街の浸水
- ・2000年 東海豪雨による浸水
- ・2012年 ハリケーン サンディによるNY地下鉄の浸水
- ・2013年 京都市営地下鉄御陵駅の浸水

都市環境の変化
保水機能の低下
地下空間の拡大
自然環境の変化
集中豪雨の増加

環境の変化により、今後
も都市水害が多発する
ことが予想される
地下空間の水害対応を
踏まえた施設管理が必要

地下空間の施設管理のあり方

問題点1 研究及び実務にわたって取り組みが別々に行われている。(例. ハザードマップと防災対策)
→複数の視点から総合的に評価, 検討する必要がある

問題点2 落葉が側溝に詰まった, 後に建造したビルを經由した等の原因で浸水被害は起きる.
→想定外を想定内にすることが急がれる

問題点3 道路(地表面), 地下街, 建築物それぞれで浸水対策を検討することは合理的でない.
→複数施設を横断的に俯瞰する必要がある

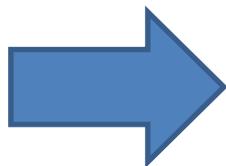
総合的な施設管理

常時・非常時の視点

組織・空間を横断的に捉える視点

施設機能とサービスの視点

などの多くの視点が施設管理に求められている



総合的な施設管理に有効な方策として、
建築分野で使われているBIMの活用を考
察する

BIM (Building Information Modeling)とは

コンピュータ上で建物の三次元モデルを設計する手法
3次元可視化の側面に加え、施設の構造などをモデル
に取り込み、これらに係る分析や検討を容易にする
土木構造物を対象とするものについて国土交通省が先
頭に立ちCIM (Construction Information Modeling)の動
きがある

BIMに期待する効果

- ・建物構造・現象の可視化, イメージの共有
- ・様々な解析による施設の検討
- ・関係者間でのデータの共通管理

本研究の試み

本研究では水害対応マネジメントを考慮した総合的な施設管理におけるBIMの可能性について考察する

地下空間モデルを作成し、浸水シミュレーションを行い、BIMに期待される効果を検証、運用上の課題の検討を行う。

地下空間における水害の特徴

地上や周辺施設と複雑に接続しており、また高低差がある

⇒地下空間のイメージが持ちにくく、水害時の予測が難しい

浸水によりエレベータ、エスカレータ、階段やドアなどが使用できない

⇒避難経路が限定される、普段使用する道が使えない



BIMによる三次元可視化
設計情報を基にした解析

モデリングの対象

地下空間にはビルの地階や、地下鉄、地下街など多くの形態がある

地下街

通勤，通学，買い物といった様々な場面で身近な空間として利用される

多数の店舗を持ち，商業エリアとして機能している



防災の観点からも，施設機能の観点からも特徴的である

BIMによる地下空間のモデリング

現在BIMを謳い地下空間の浸水過程を表現し、分析するソフトウェアはない。

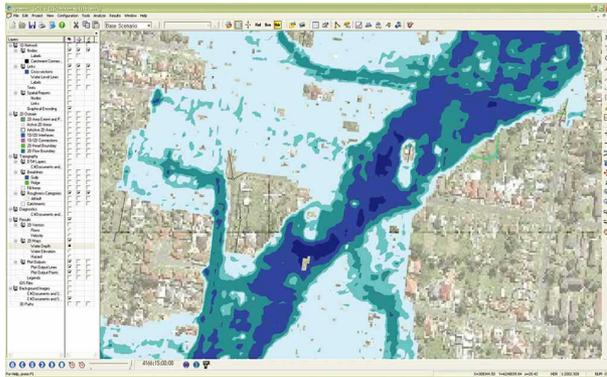
VRソフト
UC-win/Road
など

連携することにより
三次元でサービスを
可視化できる

解析ソフト
xpswmm
避難解析ソフト
など

三次元可視化に優れるVRソフトUC-win/Roadと互換性があり、流出解析モデル利活用マニュアルが推奨している雨水流出解析ソフトxpswmmを組み合わせることで対応した

Xpswmmでの解析



UC-winによりVRで表現



※FORUM8社HPより

モデリングの制約

地下街の浸水は地上の氾濫状況に影響される

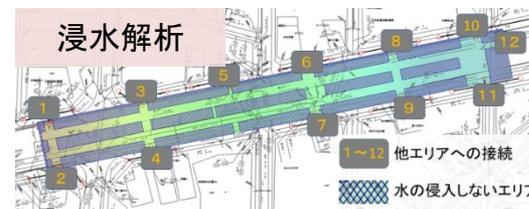
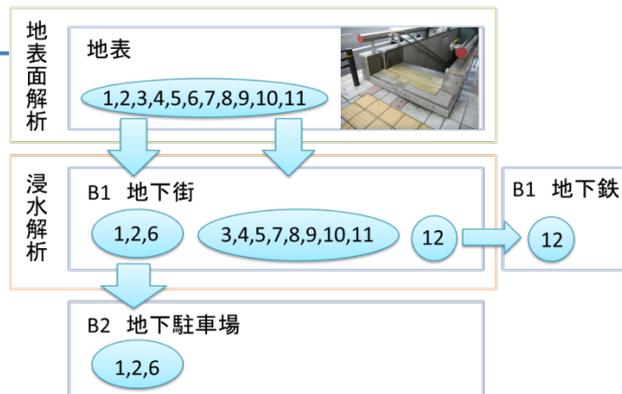
ソフトウェアの制約により地上と地下街の解析を同時にできない

1. 地表面解析

地下街へは階段からのみ流入するものとし、各階段における水の流入量を測定する標高データは国土地理院が公開している「標高の分かるWeb地図」を参考に作成

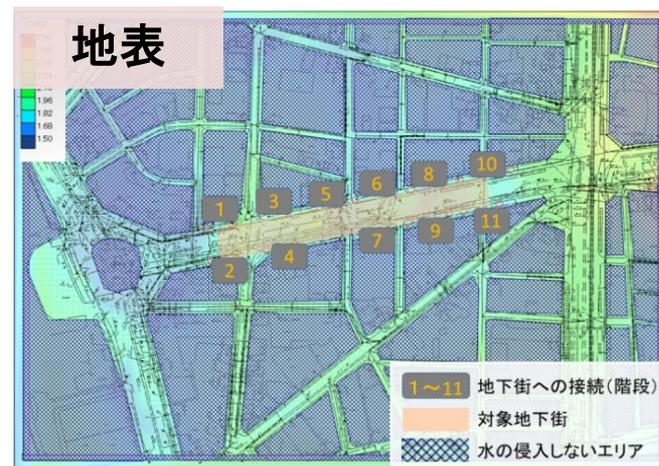
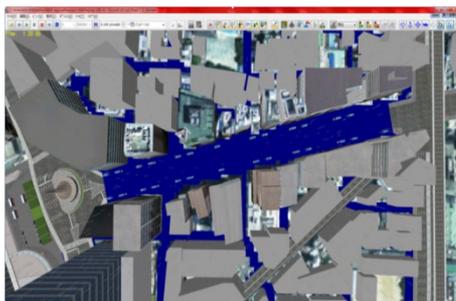
2. 浸水解析

地下街のフロアを1mメッシュに分割し、地下街へ流入した水の浸水プロセスを解析

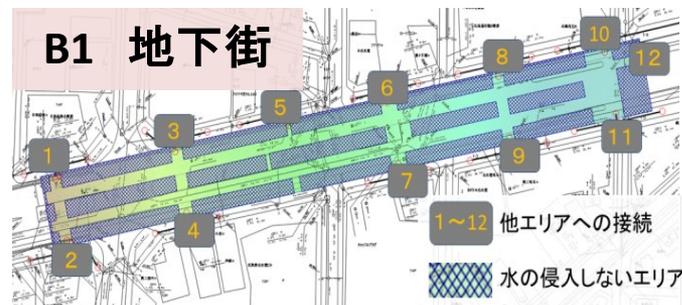
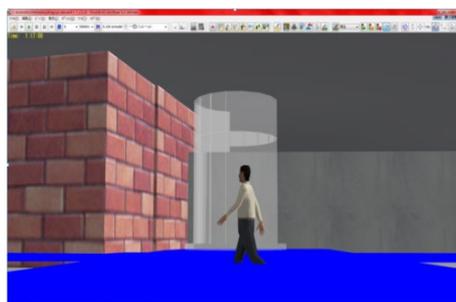
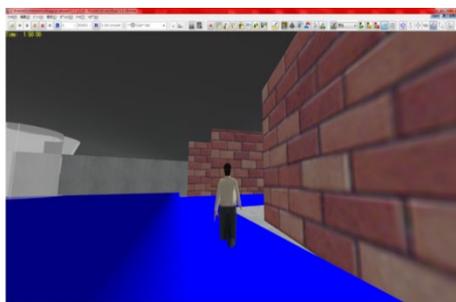


地下街のモデリング

1. 地表面解析



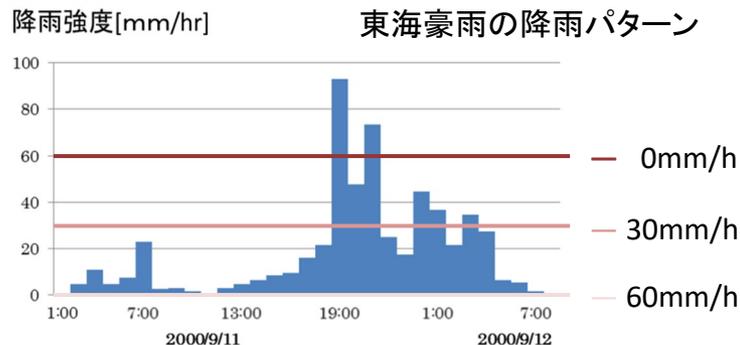
2. 浸水解析



解析条件の設定

想定降雨

東海豪雨の降雨パターンを想定



雨水処理施設の排水能力

排水能力を60,30,0 (mm/h)の3パターン想定

浸水対策(マウンドアップ, 止水版, 土嚢)の有無

浸水対策の有り、無しの2パターン想定

対策有の解析では流入口を30cmの底上げすることで対応した



計6パターンを解析

	雨水処理施設の排水能力(mm/h)	浸水対策の有無
	60	無
	60	有
CASE1	30	無
CASE2	30	有
	0	無
	0	有

解析結果に基づく浸水被害の検討

人的被害の検討

○地下街の歩行避難の検討

流速 u と水深 h を用いて避難困難度を表す

$$M_o = u^2 h / g + h^2 / 2$$

浸水による避難可能エリアの推移を考察

避難困難度指標

	安全な避難 限界	救助なしでの 避難限界
男性	0.125	0.25
女性	0.1	0.2

※石橋・戸田・尾関・馬場・井上：
内水氾濫時における大規模地下空間と避難，2011

○階段を用いた避難の検討

階段を通じての安全な避難が可能となる限界地を
地上水深30cmとする

※土木学会地下空間研究委員会防災小委員会：
地下空間浸水時の避難・救助システムに関する研究，2006

解析結果に基づく浸水被害の検討

商業施設に係る被害の検討

○資産被害額

資産被害額 = (従業員1人当たりの償却資産評価額 × 償却被害に対する浸水深別被害率 + 従業員1人当たりの在庫資産評価額 × 在庫被害に対する浸水深別被害率) × 従業員数

○営業停止損失

営業停止損失 = (営業停止日数 + 停滞日数) / 2 × 付加価値額 × 従業員数

○応急対策費用

応急対策費用 = 代替活動等支出負担単価 × 事業所数

※国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，2005

解析に基づく浸水被害の検討

商業施設に係る被害の検討

地下街の店舗概要 ※自治体の統計

業種	事業所数	従業者数
卸売・小売業	61	403
飲食店・宿泊業	14	93
医療・福祉	2	13
サービス業	7	46
合計	84	555

※治水経済調査マニュアルには
「地下街にある資産の被害額を算定することに当たって通常の被害率を用いた場合かなりの過小評価となる」との記述がある
被害額としては低く見積もっていることに留意する必要がある

被害額算出に用いるパラメータ ※治水経済調査マニュアル

業種	償却資産 23年評価額 (千円/人)	在庫資産 23年評価額 (千円/人)	付加価値額 16年評価額 (千円/人)
卸売・小売業	2147	4143	23.197
飲食・宿泊業	1837	159	23.540
医療・福祉	1450	52	23.540
サービス業	4537	321	23.540

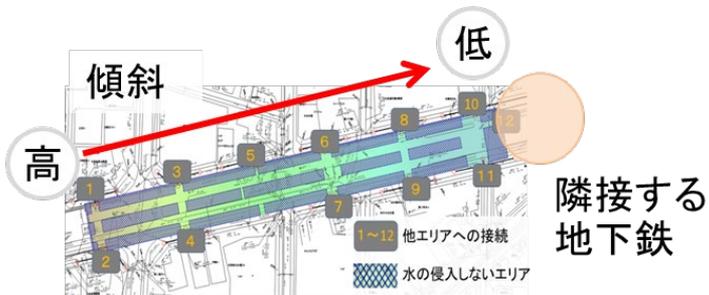
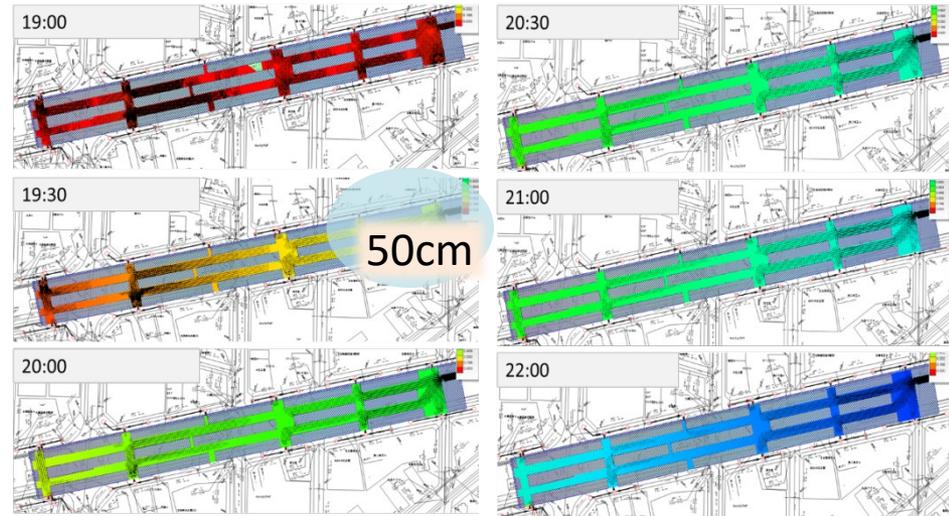
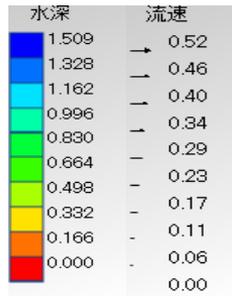
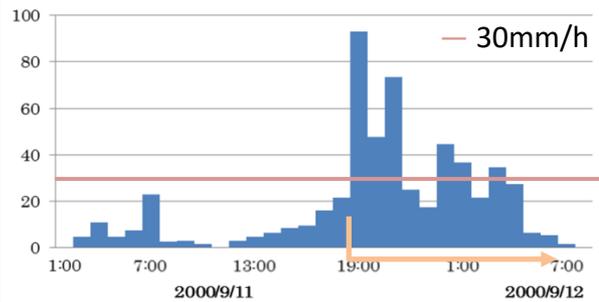
浸水深	50cm未満	50～99cm	100～199cm
資産償却	0.232	0.453	0.789
在庫償却	0.128	0.267	0.586
停止日数(日)	4.4	6.3	10.3
停滞日数(日)	8.8	12.6	20.6
代替活動等 支出負担単価 (千円/事業所)	925	1714	3726

人的被害の検討

CASE1の検討

排水能力 (30mm/h) × 浸水対策の無

降雨強度[mm/hr] 東海豪雨の降雨パターン



19:00頃から浸水が始まり, 早いところでは浸水開始後30分ほどで浸水深が50cm近くに達した

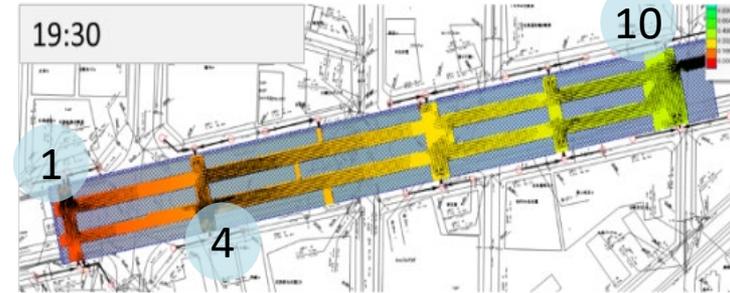
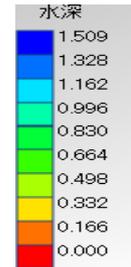
地下街は傾斜を持ち, 流入した水は隣接する地下鉄や下層の地下駐車場へ流れ込んだ

⇒地下鉄の浸水対策を考える場合には地下街からの流入を考えなければいけない

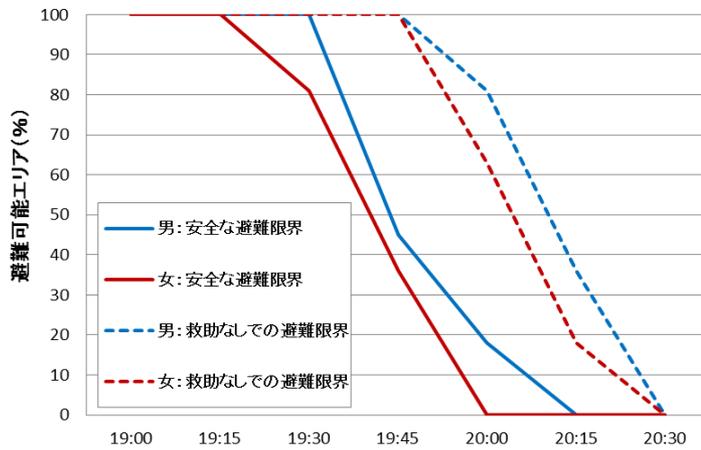
人的被害の検討

CASE1の検討

排水能力 (30mm/h) × 浸水対策の無



避難可能エリアの時間推移



安全に避難するには浸水被害後30分、遅くとも1時間以内には避難する必要がある

階段における避難可能性

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19:00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19:30	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	△
20:00	△	△	△	×	△	△	△	×	×	×	×
20:30	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
21:00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
22:00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

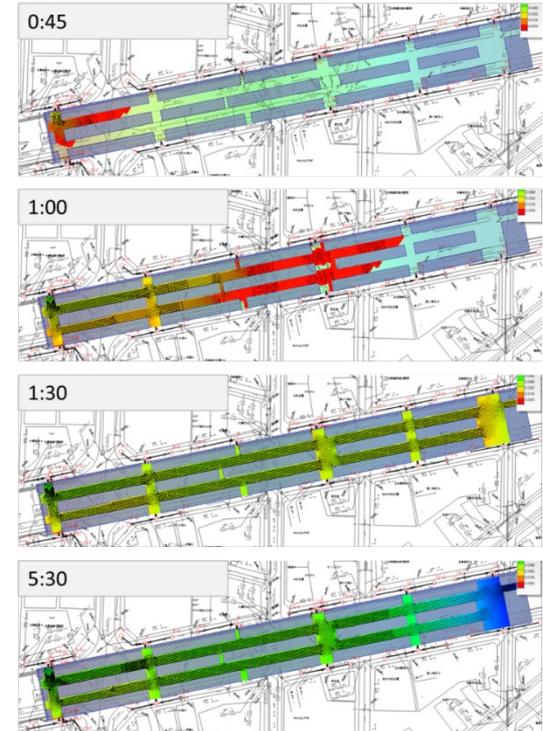
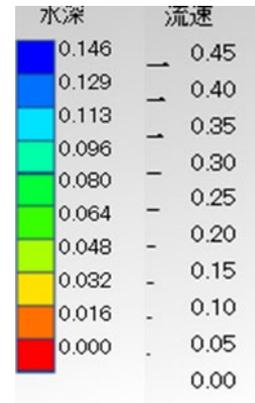
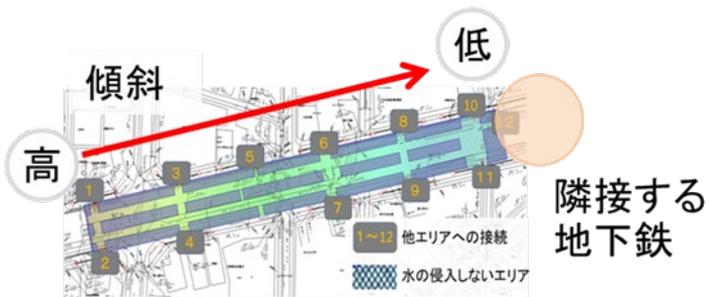
○ : 安全に避難可能 △ : 救助なしで避難可能
× : 避難不可能

各階段において流入量が異なり、1, 4, 10番の階段は浸水後30分ほどで利用することが危険となった

人的被害の検討

CASE2の検討

排水能力 (30mm/h) × 浸水対策の有

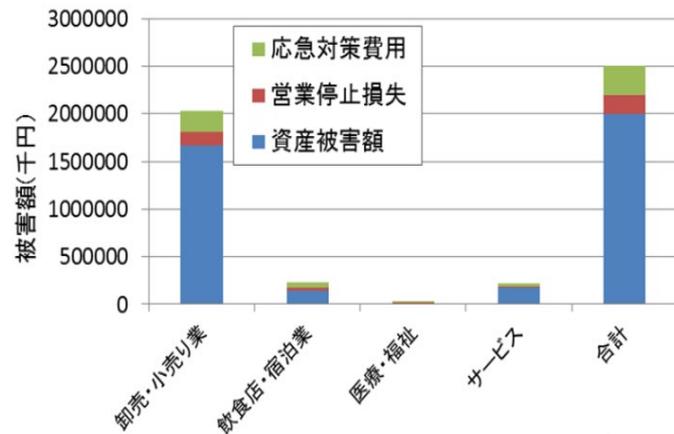


最大浸水深が15cm程度であり、全てのエリア、階段で避難できる
浸水の速度もCASE1と比べ緩やかであり、落ち着いた対応が可能

浸水対策の効果が確認できた

商業施設に係る被害の検討

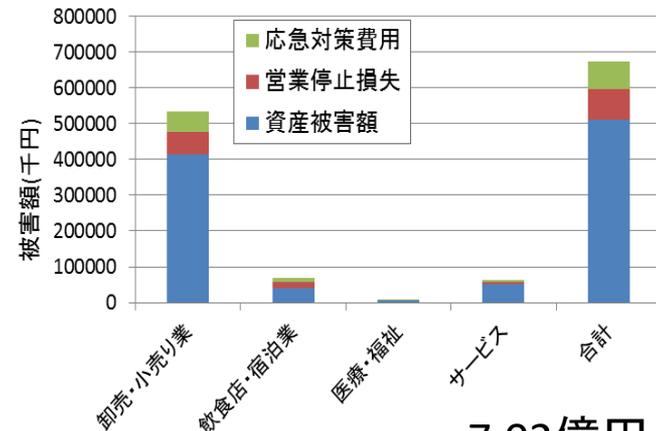
CASE1 対策有 被害総額



26.25億円



CASE2 対策無 被害総額



7.02億円

浸水対策の効果を確認できた
被害額を算出することはリスクマネジメント
の観点からも有意義なものとなる

地下街の店舗構成

業種	事業所数	従業者数
卸売・小売業	61	403
飲食店・宿泊業	14	93
医療・福祉	2	13
サービス業	7	46
合計	84	555

解析結果の三次元可視化

浸水プロセスの可視化（動画省略）

上空から見た地下街
の浸水プロセス

地下街の中から見
た浸水プロセス

浸水プロセスの可視化により地下街の避難の困難さや危険性の理解が容易となる。

任意の視点から浸水を確認することでイメージの共有が容易となる。

BIMの可能性

解析ソフトとの連携 ex. 避難解析ソフト

UC-win / Roadと避難解析ソフトを組み合わせることで、浸水解析の結果と合わせたより良い避難計画の策定ができる

設計と解析の連携

BIMは設計、維持管理におけるDBの側面を持つ
例えば、電気設備の設計情報と浸水解析を合わせた検討で感電の危険箇所や故障しやすい設備の見直しなど施設設計についての検討ができる

隣接施設とのモデルの統合

隣接施設とのBIMモデルを統合することで、管理区域にとらわれない対策の検討、様々な連携の機会を生むことができる

BIMの活用における課題

ソフトウェアに制約がある

地表面と地下街を一体的に解析できない

解析ソフトとVRソフトの互換性の問題

モデルの作成に多大な労力が必要

3次元設計は未だ一般的でなくハードルが高い



BIM(CIM)は萌芽期にあり、今後、開発が進めば上記のようなハードルは下がるだろう

まとめ

- ・本研究のBIMモデルでは俯瞰的な捉え方に加え、自由な任意の視点から浸水プロセスを確認できる。
 - 危険個所の理解が容易となり、管理者や関係者がイメージを共有しながら浸水対策を検討することができる。
- ・隣接する地下鉄駅や地下駐車場への影響、地下街と隣接施設を接続する階段の構成について検証した。
 - 周辺の施設も含む視点で一体的な対策を検討することができる。
- ・空調シミュレーション、エネルギー解析などにも適用できる。
 - 施設管理の総合性の向上に寄与する。
- 施設管理者や施設を利用する各事業者の業務継続計画に資する情報を明らかにすることが可能となる。
 - 長期的に見て効率的な維持管理(アセットマネジメント)にも資する。

謝辞

本研究の遂行に際して、
一般財団法人河川情報センター、空間データ
提供者、土木学会地下空間研究委員会防災小
委員会、名古屋工業大学大学院修士課程(当
時)の河原健太郎君、小林佑大君、山田健太君
から多大なるご支援、ご示唆をいただきました。
ここに感謝申し上げます。