

CIMを利用した地下設備の 浸水解析に関する考察

伊佐治 拓人¹・小林 佑大²・秀島 栄三³

¹学生会員 名古屋工業大学大学院 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:28415007@stn.nitech.ac.jp

²非会員 岡崎市都市整備部都市計画課技術員 (〒444-8601 愛知県岡崎市十王町二丁目9番地)
E-mail:kobayashi.yuta01@city.okazaki.lg.jp

³正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail: hideshima.eizo@nitech.ac.jp

建設分野では生産性を向上させる方策としてCIMが注目されている。CIMは三次元に優れるほか、多数の解析ソフトと連携することを可能とする。また各種データを統合するデータベースとしての機能を持つ。その特徴からCIMの活用は維持管理や公害対策、温暖化対策など様々な局面を含む形で利用が期待される。本研究では施設管理の防災対策面におけるCIMの活用の可能性に焦点を当て、地下設備の浸水対策立案に向けたCIMの有効性について検討を行った。結果として、CIMモデルを用いた浸水解析や被災状況の可視化、電気設備への被害の検討により被災状況を正確かつ直感的に把握するとともに避難状況の変化を時間軸に沿って検討することができ、浸水対策でのCIMの活用は有効であることを示した。

Key Words : CIM, flood, underground space, visualization

1. はじめに

近年、建設分野でCIM (Construction Information Modeling) が注目を集めている。CIMとは公共事業の計画・調査・設計段階から三次元モデルを導入し、施工・維持管理の各段階においても三次元モデルに追加・充実させ、各情報を一元化することで、関係者間での情報共有を可能とし、一連の生産システムの効率化・高度化を図るものである。CIMは三次元の可視化に優れる他、多数の解析ソフトと連携が可能であり各種検討を可能にする。また建物に関わる各種データを1つに統合するデータベースとしての機能を持ち、施設管理への活用が期待されている。

CIMを推進する動きとして国土交通省のCIM試行事業をはじめ、官民様々な取り組みが進められている。これらの取り組みでは道路や橋梁といった比較的単純な構造物や設計・施工といった新規の建設に係る検討が中心となっている。しかし三次元での可視化や新しいデータの活用形態といったCIMが持つポテンシャルから考えると、今後は複雑な様相を見せる都心部での利用や防災や公害対策、温暖化対策といった多方面での利用など活躍の場を広げていくことが考えられる。

本研究では防災分野でのCIMの活用に関心をもち、

近年増加する局地的大雨や集中豪雨により都市水害が問題となっている。特に地下空間は浸水被害に遭いやすく早急な対応が求められる。地下空間の浸水対策立案に向けたCIMの活用に関する考察を行う。

2. 研究の方針

はじめにモデリングソフトであるRevitを用いて地下鉄名古屋駅のCIMモデル(図1)を作成する。次に汎用解析ソフトxpswmmを用いた浸水解析を行い、地下鉄名古屋駅の東山線改札階(地下1階)及びホーム階(地下2階)における浸水被害について検討を行う。その後Revitを用いて作成したCIMモデルとxpswmmでの解析結果をVR(Virtual Reality)ソフトUC-win/Roadに取り込むことで被災状況を可視化し、時刻を変化させたり視点を変えて様々な角度から捉え、浸水状況をより正確に把握することを試みる。またCIMモデルの設備情報を用いて電気設備への影響及び設備の機能停止による避難状況の変化を検討する。これらの検討を通じて防災分野へのCIM活用の考察を行う。

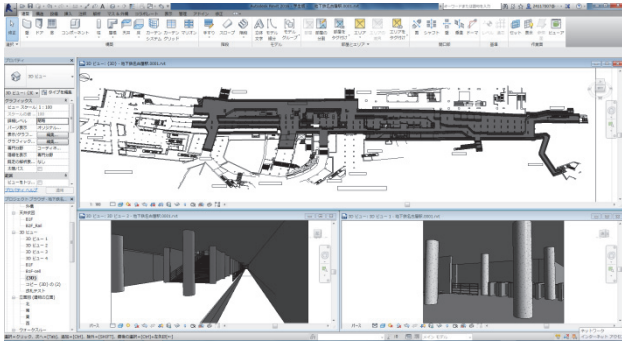


図1 Revitにより作成したCIMモデル

3. 浸水解析

地下鉄東山線名古屋駅地下1・2階の平面図を図2に示す。図2の緑色の点線に囲まれた範囲が浸水解析の対象エリアである。図中の青色及び赤色の□印の中の文字は階段の番号を表しており、青色は地上と地下1階を結ぶ階段、赤色は地下1階と地下2階を結ぶ階段を示している。

地下空間の浸水は地上の氾濫状況により流入箇所や規模が異なる。まず地上の氾濫状況について解析することで地下鉄駅への水の流入量を算出し、その後流入した水が地下鉄駅構内をどのように広がるかを解析した。浸水解析には連続式及び運動量方程式を基礎とした二次元不定流解析モデルを使用する。地下空間を1.5m四方メッシュに分割し、時間間隔を1秒とした。流入量の算出には段落ち式を用いた。降雨強度は総降雨量及び最大降雨強度に着目しCASE1からCASE4を設定した(表1)。雨水処理施設によって42mm/hの雨水が処理されるものと設定した。また1か所から大量の水が短時間に流入することを想定し、1秒当たり4リットルの水が1時間流入するケースをCASE5として設定した。

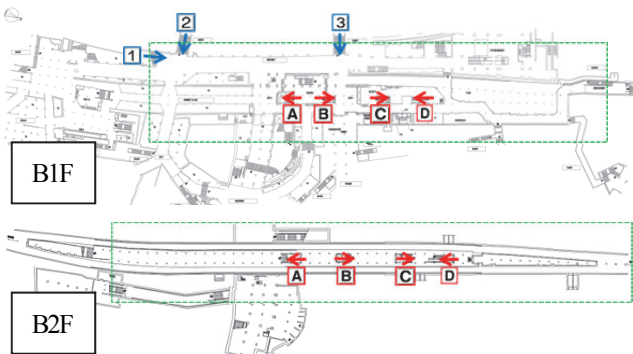


図2 地下鉄東山線地下1・2階平面図

表1 各ケースの概要

| | 最大降雨強度 (mm/h) | 総降雨量 (mm) |
|-------|---------------|-----------|
| CASE1 | 35 | 840 |
| CASE2 | 150 | 840 |
| CASE3 | 54 | 1300 |
| CASE4 | 190 | 1300 |

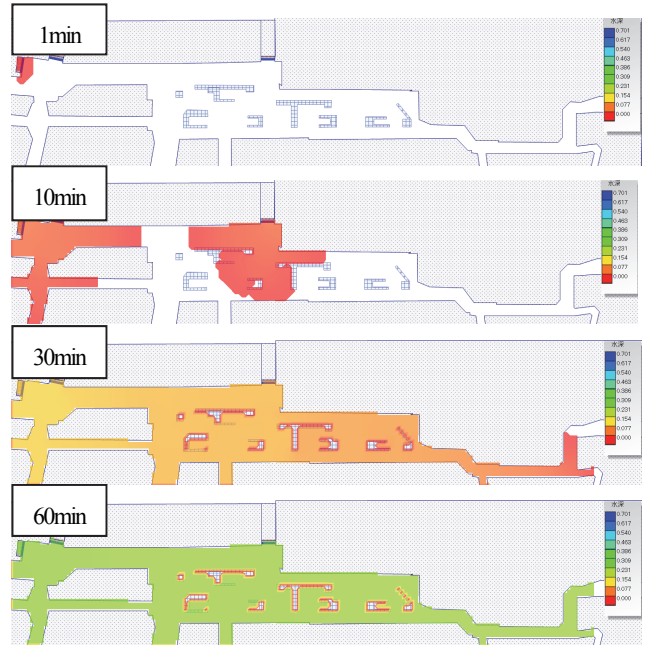


図3 地下1階における浸水解析

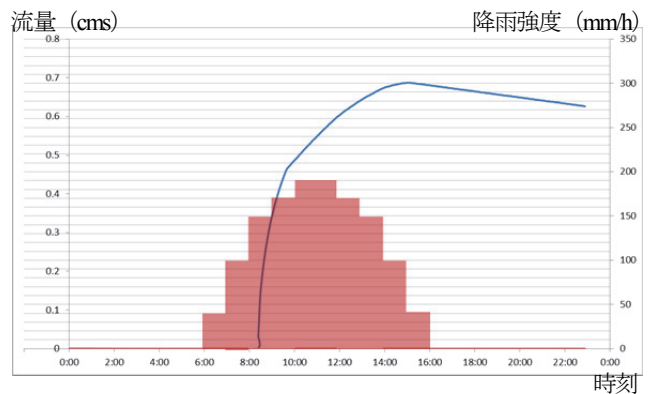


図4 降雨強度及び流入強度の推移

CASE4の地下1階における浸水解析の結果を図3に、降雨強度と地下1階への流入量の推移を図4に示す。隣接する施設との接続口である1番出口と地上との接続口のある2, 3番出口からの流入が見られた。浸水開始20分後には階段A, B, Cへと浸水が広がり、地下2階への流入が始まった。ピーク時には浸水高さ70cmに達し、その後は地下2階を通り線路へと水が流れて行き地下1階の浸水状況は徐々に落ち着いていった。

表2 時刻ごとの避難可能性 (CASE4)

| | 成人男性 | 成人女性 | 高齢男性 | 高齢女性 |
|-------|------|------|------|------|
| 0分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 30分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 60分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 120分後 | ○ | △ | △ | △ |

表3 時刻ごとの避難可能性 (CASE5)

| | 成人男性 | 成人女性 | 高齢男性 | 高齢女性 |
|-------|------|------|------|------|
| 0分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10分後 | × | × | × | × |
| 30分後 | × | × | × | × |
| 60分後 | × | × | × | × |
| 120分後 | ○ | ○ | ○ | ○ |

4. 浸水被害の検討及び考察

(1) 避難困難度の検討

浅井ら¹⁾は避難者の性別や年齢に応じた避難困難度を式 (1) で示す単位幅比力を基準に評価した。この手法を用いてCASE4及びCASE5での各時刻の避難可能性をまとめた (表2, 表3)。○は安全に避難可能, △は救助なしで避難可能, ×は避難不可能を表す。

$$M_0 = \frac{h^2}{2} + \frac{u^2 h}{g} \quad (1)$$

CASE4では浸水120分後の時点で成人女性, 高齢男性, 高齢女性が安全に避難することができなくなっている。出入口から氾濫水が浸入した場合は全員が安全に避難できる浸水開始60分後までに避難を完了させるため迅速な避難誘導が重要となる。

CASE5では浸水10分後の時点で全ての人が避難できなくなっている。突発的に大量の水が流入した場合は浸水開始後の避難は困難なため, 浸水が駅構内に広がらないためのハード面での対策が必要となる。

(2) 商業施設に係る被害の検討

名古屋駅の地下空間には複数の地下街があるが, ここでは浸水解析範囲にあるメイチカとGatewalkの2つの地下街を検討対象とする。被害額の算定には, 治水経済調査マニュアル (案)²⁾で示されている以下の式に浸水解析で求めた浸水深を適用する。各メッシュにおける最大浸水深に10cm以上の差がないので, 浸水深は各ケースの地下1階における最大浸水深を用いる。2つの地下街を合わせた事業者数及び従業者数を表4に示す。CASE1は浸水被害がないことから, CASE2からCASE5までの被害額算出結果を表5に示す。

表4 地下街の概要³⁾

| 業種 | 事業者数 | 従業者数 |
|--------|------|------|
| 卸売・小売業 | 32 | 257 |
| 飲食・宿泊業 | 7 | 286 |

表5 各ケースの被害額

| | CASE2 | CASE3 | CASE4 | CASE5 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 浸水深(cm) | 55.4 | 31.5 | 70.1 | 127.8 |
| 被害額(億円) | 5.78 | 2.92 | 5.78 | 10.71 |

資産被害額 = (従業者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 + 従業者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) × 従業者数

浸水深が50cm未満では同じ被害率を用いるため, 地下空間に水が浸入し地下街に達した時点でCASE3と同額の被害が生じる。地下への流入が始まる前に土嚢や止水板を設置し, 地下空間への浸水を防ぐことが商業施設への浸水対策を考える上で重要となる。

(3) VRによる被災状況の可視化

氾濫水が流入したケースの中で浸水被害が最も大きかったCASE4の解析結果をUC-win/Roadを用いて浸水状況の可視化を行う。名古屋駅周辺の浸水状況を図5に示す。VRにより被災状況を可視化することで二次元図面では必要な浸水深から被災の状況を想像するという過程が必要なくなり, 直感的に被害を把握することが可能になる。

浸水解析の結果から浸水開始後約5分で商業施設への浸水被害が見られることが分かった (図6)。VRはCGなどと異なり, 時刻を変化させたり視点を変えて必要な場面を任意の角度から捉えることができるため, 浸水状況をより正確に把握することが可能となる。

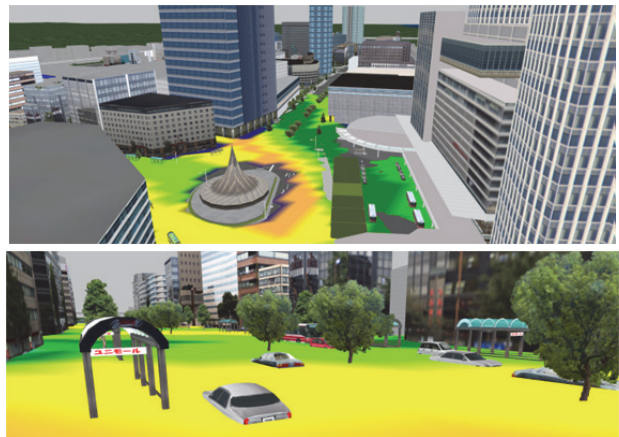


図5 名古屋駅周辺の浸水状況



図6 テナントの浸水状況

(4) 電気設備に係る考察

地下鉄名古屋駅の施設管理は紙図面を利用して行われている。しかし用紙サイズの制約上、個々の情報が小さくなり用途ごとに多数の図面が必要になる。電気設備図面(図7)を例にとると、各設備がシンボルで表現されるが、紙媒体では様々なシンボルが複雑に重なり合っ て示されるため、必要な情報を抽出するには専門的な知識と技術が要求される。CIMでは構造物を1つのモデルとして管理することができる。必要に応じて図面を拡大し細部の検討をしたり、反対に縮小して全体像を確認することもできる。また目的に応じて必要な設備の位置や情報を表示させることができる(図8)。

浸水による電気設備への影響を検討する。電力会社から供給された電気は配電室を経由して駅構内に送られる。配電室の変電設備が浸水すると停電が発生するが、災害時重要となる設備は内部バッテリーが作動する。内部バッテリーの持続時間は、非常用照明が30分、避難誘導灯が60分である。VRにより非常用照明のみが機能している際の避難状況を可視化すると図9のようになる。

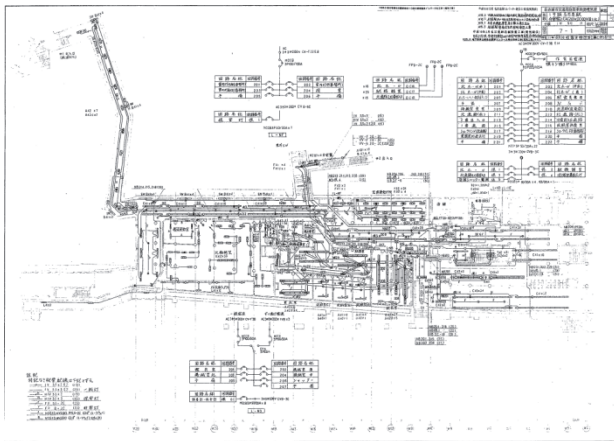


図7 電気設備図面

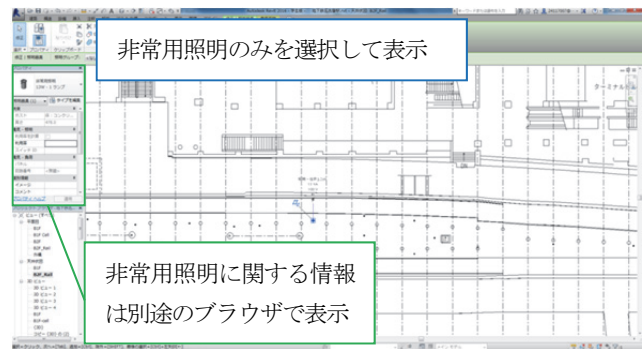


図8 Revitによる非常用照明の図面



図9 非常用照明作動時の避難状況

CASE4において停電が発生するのは浸水開始約1時間20分後の10:40頃である。電力供給停止30分後の11:10頃非常用照明が機能を停止し、地下空間は暗闇となる。

地下空間での避難の困難さは電気設備の被害状況によって大きく左右される。CIMにより被災時の状況を時間軸に沿って分かり易く表現することで、具体的な対策の検討が容易になる。

5. まとめ

本研究を通して以下のような知見を得ることができた。

- ・CIMモデルに付与した属性情報により、設備の機能停止による避難状況の変化を検討することが可能となる。
- ・被災状況を任意の時間や角度から捉えることができるCIMの利用は浸水対策を検討する上で有効である。

参考文献

- 1) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：高齢者を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討：水工学論文集，第53巻，pp.859-864，2009。
- 2) 国交省河川局：治水経済調査マニュアル(案)，2005。
- 3) 統計局：平成24年経済センサス，2012。