

南海トラフ巨大地震に伴う津波氾濫時の 大阪市内地下駅浸水について

庄田侑平¹・石垣泰輔²・安田誠宏³

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科(〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)
E-mail: k803722@kansai-u.ac.jp

²正会員 関西大学教授 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)
E-mail: ishigaki@kansai-u.ac.jp

³正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)
E-mail: yasuda-t@kansai-u.ac.jp.

南海トラフの大地震は 30 年以内に発生する可能性が高く, 都市部に大規模な被害を与えると推定されている。都市部では地下鉄と地下空間が広範囲であり津波により浸水しやすいものとなっている。そのため, 人々は地下空間から避難しなければならない。しかし, 車椅子利用者が地下から避難することは容易ではない。また, 避難方法について詳しく確立されていない。本研究では, 地震が発生した場合でも, 津波の到来前に車椅子利用者が地下の駅から安全に避難できるかどうかを評価した。

Key Words: Subway station, tsunami inundation, NankaiTroughEarthquake, evacuation

1. はじめに

東日本太平洋沖地震が2011年3月11日に発生し, 津波により多くの人々が犠牲となり, 多くの社会基盤構造物が破壊された。これを受けて翌年内閣府の中央防災会議は「南海トラフの巨大地震モデル検討会」を設置した。この検討会の報告によると, 南海トラフ巨大地震が発生した場合, 都市部に広範囲に津波が遡上し多大な浸水被害をもたらすことが想定されている。また南海トラフ巨大地震は2018年1月1日時点で30年以内に起こる確率は70~80%とされている。

都市部では地上だけでなく, 地下鉄や地下街等の地下空間の利用も進められている。津波による氾濫水はそれらの入り口から浸水するだけでなく地下鉄網を介して浸水路線が広範囲に拡大し水没してしまう¹⁾そのため, 地震が起こったら地下鉄はじめ地下空間から地上の高所へ避難した方が適切と言える。

健常者の避難方法については検討が行われてきたが, 災害時要援護者への検討も必要である。災害時要援護者とは一般に65歳以上の高齢者, 障害者妊産婦, 子ども, 外国人等が該当すると想定される。この中で特に, 車いす利用者は一般利用者の通路幅より広い幅を必要としている。その上車いすを360度自在に回転させることも考えるとその空間も確保しなければならない。停電時は,

非常用電源がある場合を除いてエレベーターは基本的に使用不可能である。そのため車いす利用者専用の階段ルートが必要である。

2. 津波による地下浸水に関する既往研究

(1) 津波氾濫水の解析

浅野ら²⁾は, 南海トラフ巨大地震による海老江処理区の地下空間及び地下鉄駅の浸水予測を行っている。

InfoworksCSを用いて地上と地下の氾濫解析を同時に行う方法である。中央防災会議での波高データから淀川の堤防を越流した分だけ解析モデルに流入させる方法で氾濫解析を行っている。地上の氾濫解析は内閣府の発表したハザードマップの浸水深とほぼ同じ結果を得ている。津波氾濫時にポンプを稼働させている場合ではそうでない場合と比べて23%も地下空間全体への流入量を減らすことが可能であると示している。

また, 津波氾濫水は堤防を越流してから5分後に地下空間に浸水が開始し, 30分以内に地下空間モデル全体の浸水面積が80%になると示している。このため, 津波氾濫時はいち早く避難誘導を優先しなければならないことが指摘されている。

濱口ら³⁾の研究では水害ごとに海老江処理区内での大

規模地下空間を対象に氾濫水の伝播について検討している。解析方法は InfoworksCS を用いて、内水及び外水氾濫と津波氾濫と高潮氾濫の 4 条件別に行うことである。内水及び外水氾濫は岡崎豪雨の降雨データをもとに 4 条件のうち津波氾濫が一番早く地下空間に流入しやすいことを示している。津波の解析データは内閣府の中央防災会議のデータをもとに行っている。津波氾濫時の解析結果では 583 万 m^3 の氾濫水が 20 分で対象地域に流入するため一部では浸水深が 10m を越えることを示している。また災害ごとに氾濫水の伝播経路が異なるため、災害ごとに対策をとることが求められる。

(2) 車いすでの避難

川中ら⁴⁾は、地下空間浸水時における地下空間での車いすでの避難困難度について評価している。対象地域は海老江処理区内の梅田駅周辺の大規模地下空間で岡崎豪雨を降雨条件に浸水解析を行っている。地下空間が浸水している条件で車いすを自力走行した場合と他力走行した場合を比較している。それに加えて浸水深を変えて避難困難度を評価し、浸水深が大きいほどより避難が困難であることが明らかにしている。そのため地下空間が浸水する前に避難する必要があることを示している。水防活動時はエレベーターは使えないので階段を使い複数人で人力で担いで地下空間から避難する方法を用いている。解析の結果と避難にかかった時間を照らし合わせると、大雨警報から 27 分後には完全に避難不可能という結果になり、大雨警報発令から 20 分以内に避難しなければならないと示している。

3. 対象地域

(1) 対象の駅と路線

本研究の対象地域は大阪市全域である。図-1 に路線と大阪府のハザードマップを重ね合わせたものを、対象駅を表-1 に示した。36 駅のうち赤字で示した駅は海老江処理区外である。図-2 に示した阪急千里線天神橋筋六丁目駅はじめ、御堂筋中津駅、阪神本線福島駅、阪神なんば線九条駅、中央線阿波座駅、JR 東西線加島駅、緑木検車場の計 7 箇所のトンネル坑口を対象にした。

従来の研究²³⁾では図-3 の赤枠で囲んだ海老江処理区の地下鉄軌道のみ調査を行っていたが、大阪市は淀川はじめ多くの河川に囲まれていて且つ地盤も低い。そのため本研究では大阪市全域に広げて研究を行うことにした。大阪市には Osaka Metro の 8 路線、JR 西日本、阪神電気鉄道、京阪電気鉄道、近畿日本鉄道の計 12 路線の地下鉄軌道が走っている。図-3 では上町台地よりも西側は埋立地が多く海抜 0m 地帯が広がっていることを示している。このこと

から上町台地より西側はより浸水しやすいといえる。



図-1 路線図と大阪市の津波ハザードマップの複合図



図-2 路線図とトンネル坑口の位置

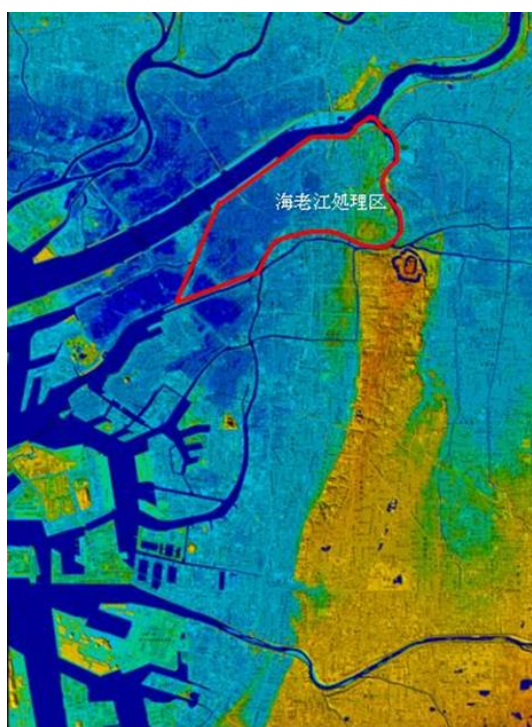


図-3 大阪市の地盤高

表-1 対象の路線名と駅名

路線名	駅名
御堂筋線	中津
	梅田
四つ橋線	本町
	西梅田
	肥後橋
	本町
	岸里
	玉手
	北加賀屋
谷町線	住之江公園
	野江内代
千日前線	東梅田
	野田阪神
中央線	玉川
	阿波座
	西長堀
	桜川
	阿波座
長堀鶴見緑地線	本町
	大正
	ドーム前千代崎
	西長堀
	西大橋
今里筋線	蒲生四丁目
	今福鶴見
	蒲生四丁目
阪神本線	梅田
	福島
阪神なんば線	桜川
	ドーム前
	九条
JR東西線	北新地
	新福島
	海老江
	御幣島
	加島

(2) 駅に関する現地調査

駅の出入り口やトンネル抗口の流入量を求めるために対象の地下駅の入り口の現地調査を行った。調査した項目は図-4 の道路からのマウンドアップ高さとし入り口幅と止水板がある場合その高さも調査の対象とした。また、氾濫水はトンネル抗口を通過して浸水すること考えて坑口の幅を Google Map の航空写真を用いて調べた。トンネル抗口については空中写真を例に縮尺からトンネル抗口の幅を調べた。



図-4 今福鶴見駅の入口

4. 解析の条件

(1) 津波氾濫計算モデルの条件

内閣府中央防災会議が検討した 11 通りの地滑り断層モデルのうち大阪市に津波が到達するのは図-5 に示している地滑り断層モデル Case3,4,5,10 である。これらのモデルと表-2 に示している 3 条件をかけあわせた合計 12 通りのモデルをもとに大阪府はシミュレーションを行っている。この 12 モデルのうち最も深く浸水するデータを集めたものが図-6 の最大浸水深図である。

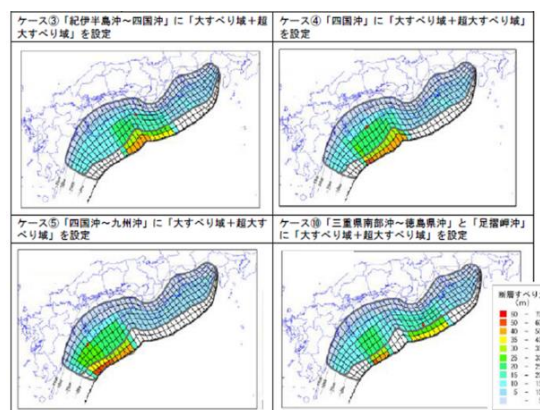


図-5 地滑りモデル Case3,4,5,10

表-2 大阪府の解析の条件

	堤防の破堤による沈下	水門	陸間
1			開放
2	考慮する		開放
3	考慮しない	開放	閉鎖

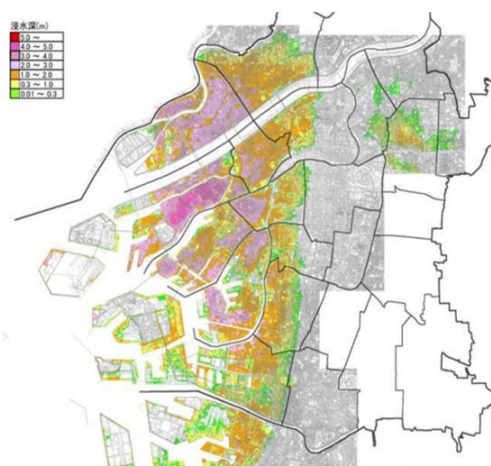


図-6 大阪府の津波最大浸水深

本研究では中央防災会議が検討した Case3,4,5,10 の津波計算結果を用いて地上部の氾濫解析を行った。なお本研究の氾濫解析の条件は表-3 に示す。潮位は一律で河川

の水位を考慮して+1.20mとして2次元氾濫解析を行った。

4 ケース全ての氾濫解析を行ったところ図-7 で示した Case10 の最大浸水深が図-6 の最大浸水深に近い結果となった。以下の検討ではこれをもとに地下鉄の駅及びトンネル坑口の浸水深や流入量を求めた。

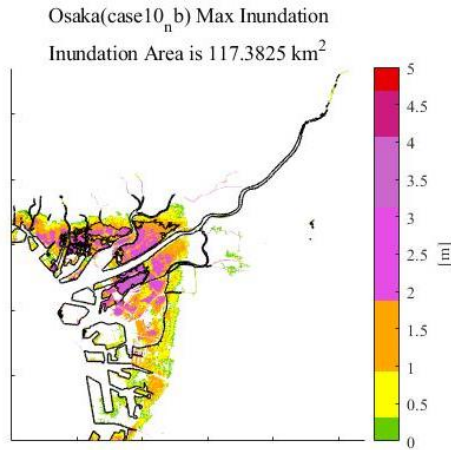


図-7 氾濫解析による Case10 の最大浸水深

表-3 研究で行った解析の条件

堤防の破堤	地盤の沈下	水門	陸閘	潮位	地形条件
なし	なし	開放	閉鎖	+1.20m	現況

(2) 流入量の計算方法

越流公式を用いて流入量 (m^3/s) を求めた。入り口幅を B (m), 越流水深を h_1 (m), 重力加速度を g として計算した。以下に越流公式を示す。なお、浸水深からマウンドアップ高を引いたものを越流水深として流入量を求めた。

$$Q = \mu B h_1 \sqrt{2gh_1} \quad (1)$$

$\mu = 0.35$ とした。

5. 解析の結果

(1) 駅とトンネル坑口の氾濫水到達時間

4 章で行った氾濫解析の結果をもとに駅ごとの津波氾濫水が到達する時間を求めた。津波氾濫水到達時間は地震発生時刻を基準にして計算した。表-4 から津波による氾濫水が一番早く到達するのは長堀鶴見緑地線の大正駅と蒲生四丁目駅と西長堀駅である。地震発生から 7 時間経過しても浸水していない駅は浸水無しとした。図-8

は浸水深が大きかった阪神なんば線の駅ごとの中心座標の浸水深の時間変化である。

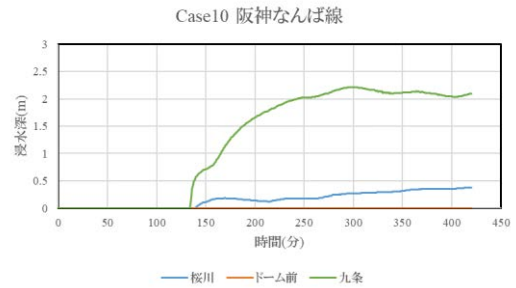


図-8 阪神なんば線の時間ごとの浸水深

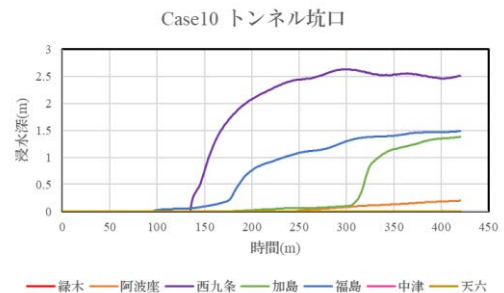


図-9 トンネル坑口の時間ごとの浸水深

図-9 はトンネル坑口ごとの浸水深の時間変化を示している。浸水深が最大値をとるのは西九条駅と九条駅間のトンネル坑口である。

表-4 駅ごとの津波氾濫水到達時間

路線名	駅名	津波氾濫水到達時間(分)
御堂筋線	中津	浸水なし
	梅田	浸水なし
	本町	浸水なし
四つ橋線	西梅田	浸水なし
	肥後橋	浸水なし
	本町	浸水なし
	岸里	浸水なし
	玉手	浸水なし
	北加賀屋	127
谷町線	住之江公園	浸水なし
	野江内代	浸水なし
	東梅田	浸水なし
千日前線	野田阪神	157
	玉川	129
	阿波座	241
	西長堀	219
中央線	桜川	148
	阿波座	241
長堀鶴見緑地線	本町	浸水なし
	大正	119
	ドーム前千代崎	浸水なし
	西長堀	168
	西大橋	浸水なし
今里筋線	蒲生四丁目	119
	今福鶴見	浸水なし
	蒲生四丁目	119
阪神なんば線	桜川	134
	ドーム前	浸水なし
	九条	140
阪神本線	梅田	浸水なし
	福島	浸水なし
JR東西線	北新地	浸水なし
	新福島	134
	海老江	155
	御幣島	132
	加島	308

(2) 駅とトンネル坑口の氾濫水の流入量

止水板無しの条件で、駅の入り口の座標ごとの浸水深を、越流公式に代入して駅の入り口やトンネル坑口の津波氾濫水流入量を求めた。図-10 は流入量が多かった阪神九条駅の流入量を入り口ごとに示している。阪神九条駅の入り口は北西側と南東側に 2 か所ある。図-10 より 1 の方が 2 より先に津波氾濫水が流入する。流入開始時間が同じ駅でも入り口で異なるのは地盤高とマウンドアップ高の違いで説明できる。

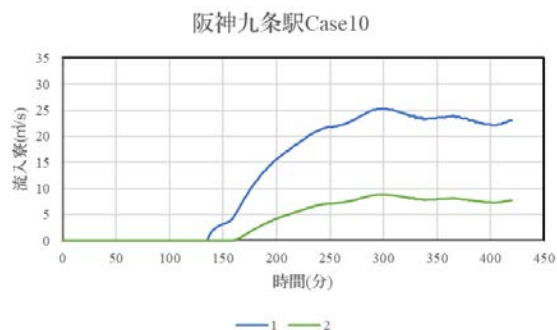


図-10 阪神九条駅の時間ごとの流入量

トンネル坑口の流入量は越流公式に浸水深をそのまま代入して流入量を求めた。従って、流入量は浸水深の 1.5 乗に比例する。図-11 から西九条駅と九条駅間の坑口が最も流入量が多いことを示している。なおここでは地下への流入に伴う浸水深の低下は考慮していない。

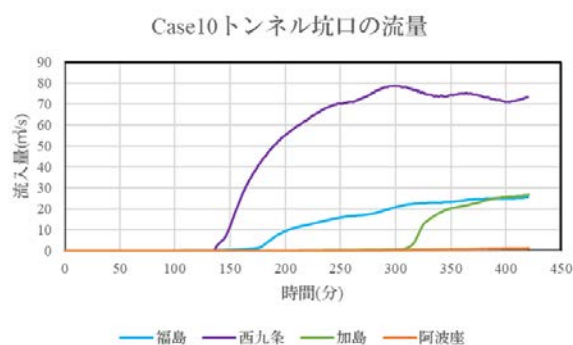


図-11 トンネル坑口の時間ごと流入量

6. 避難方法について

車いすでの避難所要時間を水平移動時は独自の実験結果より 0.5m/s とし階段移動時は 4 人で担いで 1 段 1 秒とした。この数値をもとに避難所要時間を算出した。本研究では地震発生後も地下空間に乘客はいるものとして、津波が大阪市に到達する時刻から避難するものとしている。5 章で示した氾濫水到達時間から 110 分引いた値を避難猶予時間とした。避難猶予時間から避難所要時間を引いた数値が避難余裕時間である。表-5 は氾濫水が浸

水した駅の避難に関する時間をまとめて示している。

表-5 避難に関する時間(単位は分)

	避難所要時間	避難猶予時間	避難余裕時間
新福島	7	24	17
海老江	10	45	35
御幣島	6	22	16
加島	6	198	192
北加賀屋	7	17	10
桜川(阪神)	5	24	19
九条(阪神)	5	30	25
大正	7	9	2
西長堀	6	9	3
蒲生四丁目	6	9	3
野田阪神	3	47	44
玉川	3	19	16
阿波座	5	131	126
桜川	7	38	31

表-5 では避難余裕時間が 10 分にも満たない駅が 3 駅あることを示している。従って、これらの駅は地震速報が発令されたら直ちに避難をしなければならない。またこれらの駅は入り口に止水板を取り付ける時間もないと考えられる。

Osaka Metro では大規模地震発生から 1 時間以内に全ての乗客を避難させる計画であるが、JR 西日本や阪神電鉄は南海トラフ巨大地震に備えて具体的に検討を行っているかについては不明である。そのために車いす利用者優先避難階段と専用のルートを決めておいて誰でも分かるようにすることが求められる。

安全に乗客全員が避難をするには、地震速報が発令されたら速やかに冷静に駅員の指示に従って避難することであり、大規模地震発生の地点で駅職員は地下鉄利用者を地上のビルに安全に避難することが望ましいことである。

7. まとめ

本研究では、津波氾濫時に地下鉄のホームから車いす利用者が確実に避難できるかについて津波による地上浸水や駅の入口へ流入量の観点から検討を行った。その後、避難に関する時間を求め、避難方法が適切であるかを求めた。以下に本研究で得られた結果を示す。

(1) 地上の最大浸水深について

中央防災会議が検討した Case3,4,5,10 の津波条件による氾濫解析を行った結果、最大浸水深は浸水範囲と最大浸水深を考慮して Case10 が一番大阪府のハザードマップに近い結果となった。

(2) 駅ごとの浸水深と流入量

全体的に河川沿いで海拔 0m 地帯の駅であるほど浸水しやすい結果となった。阪神九条駅が最も浸水深が大き

い結果となったので流入量はその分大きくなった。また入り口が複数ある駅ではマウンドアップ高と地盤高が低い入り口から流入しやすいので優先的に止水板を取り付けると被害が少なくなる。

(3) トンネル坑口の浸水深と流入量

対象となっている7箇所の中九条駅と西九条駅間の坑口が最も浸水しやすいことが明らかとなった。そのため九条駅と西九条間のトンネルは流入量が最も多い結果となった。

(4) 避難に関する時間

地震発生後も地下鉄の駅にいてかつ大阪市に津波が到達する時刻から避難開始する条件では、長堀鶴見緑地線の西長堀駅や蒲生四丁目や大正駅は避難余裕時間が5分以下であった。これらの駅は避難する場合、特に車いす優先避難ルートを示し、津波避難ビルまで誘導できるルートを示すことが課題となってくる。これらの3駅は止水板の設置する時間もないといえる。

謝辞：本研究を遂行する上で必要なデータを提供していただいた関係各位に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) 河田恵昭：津波災害，pp.138-139，岩波新書，2018.
- 2) 浅野統弘，尾崎平，石垣泰輔，戸田圭一：南海トラフ巨大地震による津波襲来時の大規模地下空間の浸水予測，水工学論文集 B1(水工学)，Vol.70，No.4，I_1435~1437，2014.
- 3) 濱口舜，石垣泰輔，尾崎平，戸田圭一：記録的水災害に対する大規模地下空間の浸水脆弱性に関する検討，水工学論文集 B1(水工学)，Vol.72，No.4，I_1363~1368，2016.
- 4) 川中龍児，石垣泰輔，尾崎平，戸田圭一：津波氾濫時の地下鉄ホームからの車椅子の避難に関する研究，地下空間シンポジウム論文・報告集，第22巻，pp.123-126，2017.

INUNDATION OF SUBWAY IN OSAKA DURING TSUNAMI BY NANKAI TROUGH EARTH QUAKE

Yuhei SHODA, Taisuke ISHIGAKI and Tomohiro YASUDA

Cabinet office of Japan said that Nankai trough earthquake will take place in the next 30 years with 70% occurrence probability. The earthquake is the largest scale disaster in the past hundreds years. In urban area, people use subway and underground space. These are prone to inundation by tsunami. So, people have to evacuate from station of subway or underground spaces after tsunami warning is issued. However, it is very hard for wheelchair users to evacuate from underground spaces. Study area of this study is Osaka city, where there are many subway lines. Using data of Central Disaster Management Council, inundation depth and starting time of intruding into subway stations were calculated by 2D shallow flow model. Inflow discharge and lead time were figure out and safety evacuation for wheelchair users is investigated. From the results it is found that lead time is too short to make a safe evacuation at some stations. This means that appropriate evacuation plan should be make as soon as possible.