

熊本市液状化対策技術検討委員会 <第2回>

1. 日時及び場所

平成 29 年 10 月 27 日（金） 午前 10 時～正午
熊本市役所議会棟 2 階 予算決算委員会室

2. 主催

熊本市（担当課：都市建設局都市政策部震災宅地対策課）

3. 出席者

（1）委員

北園芳人会長 市川勉副会長 永瀬英生委員 村上哲委員 友清衣利子委員 松下一樹委員

（2）熊本県

<建築課>

原井審議員、小松主幹

（3）事務局

○熊本市

<都市建設局>

小路総括審議員

<土木部>

宅間部長

<震災土木施設対策課>

上田首席審議員 井本技術主幹 安部主任技師 三島技師

<震災宅地対策課>

上野課長 山部副課長 上村技術主幹 久保田技術参事 米野主任技師 須納瀬主任技師
河原主任技師 安達技師

○千代田コンサルタント

杉野 内田 和田 宗川 安東

4. 議事次第

（1）開会

（2）会長挨拶

（3）議事

①前回の確認事項について

②現地試験（揚水試験）の結果について

③実証実験の候補地について

（7）その他

（8）閉会

5. 議事の概要

①前回の確認事項について

1) 液状化被害箇所の再確認

○青丸がプロットされた地点については、主に田畑や学校などで噴砂亀裂が見られた。一部宅地の被害も見られたところは、前回示した被害戸数の約 2,900 戸と捉えている。道路等にプロットされた箇所については、噴砂や亀裂等による被害は宅地には及んでいなかったため、被害戸数としては捉えていない。

○公共施設の道路及び河川の被害箇所については、本市が推定していた約 2,900 戸の宅地の液状化被害と概ね一致していた。下水道の被害箇所については、宅地の液状化被害箇所と重なった地区もあるが、重ならない地区もある。この重ならない地区の多くは、下水道の埋め戻し材の砂に起因して発生しており、主に道路部分のみに被害が見られ、その被害は宅地地盤まで影響しているとは見受けられない。

○昨年現地確認などを行った基礎調査や、公共施設の被害状況などから、液状化と見られる噴砂や顕著な家屋への被害がまとまって発生している地区については調査を行っており、その被害戸数は約 2,900 戸としている。また、震災宅地対策課にて相談窓口を開設しており、今後も被害状況の把握に努めていく。

2) 地震応答解析について

○日吉小学校の地質調査で実施した室内土質試験結果による動的特性値等により地盤モデルを作成し、その地盤モデルの基盤層に地中観測波形（4 月 16 日の本震時）を入力し地震応答解析を行い、地表面の加速度を求めている。

○case①、②での地震応答解析結果では、case①が 256.6gal、case②が 256.8gal となり、地表面最大加速度に大きな変化は見られなかったため、検討に用いる地震動はマグニチュード 7.3、260gal 程度が想定される。

○参考解析と合わせて計 5case について解析を行ったが、熊本平野において実際に観測された最大加速度に比べ、若干小さ目の地表面加速度を示す結果となっているため、今後も引き続き委員各位や専門家の方々の意見を頂きながら、さらに検証を深めていく。

3) As1 層と As2 層の取り扱いについて

○前回の委員会では、被害が生じた箇所は表層に As1 層が分布している自然堤防、被害が生じなかった箇所は表層に Ac1 層が分布している後背湿地として区分されているものと推察し、被害状況より As2 層は液状化しない層と評価をしていた。しかしながら、As2 層が液状化しない明確な根拠が必要と意見を頂いていた。

○今回日吉小学校にて As2 層の乱れの少ない試料を採取し、繰返し非排水三軸試験を実施した。試験結果を用いて、液状化の詳細判定を行った結果、As2 層の一部で液状化することが確認されている。

○再液状化判定の再確認を行った結果、As1 層のみを対象とした場合と比較し、As1 層と As2 層を対象とした場合では、判定が 1 ランク下がる箇所が幾つか見られるが、大きな違いは見られない。

○今後の方針としては、As2 層は液状化する層だが、部分的には液状化しない層もあると確認された。今後、現地の被害状況等を考慮しながら、As2 層の対策をどこまで行う必要があるのかなど、様々な角度より対策工法の検討を進めていく。また、対策の目標値の設定についても、想定地震動の検証と併せて引き続き検討していく。

4) 地下水位データについて

○本市の水保全課で 33 本の観測井を設置しており、継続的に観測が行われている。そのうち浅井戸と深井戸が併設されている 3 カ所（6 本）について、観測データを確認したところ、10m 程度の浅井戸の水位は降雨水量に対応しており、雨の影響を強く受けている。

○浅井戸は第 1 帯水層の上に位置する不圧の自由地下水であり、深井戸は第 2 帯水層に該当する。今回の液状化対策の対象となる地下水は、浅井戸が位置する自由地下水である。

○熊本地域の地下水の流れを考慮すると、地下水位低下工法による液状化対策では、地下水揚水だけでなく、地中に止水矢板を設置する対策を実施した場合、周辺地域を含む地下水流動の変化とそれに伴う浅井戸への影響が懸念される。

○今後の方針としては、対策工法の実施による地下水への影響について、モニタリングの充実を図り、既存の観測データを踏まえた地域の地下水流動の把握と対策工法実施による影響を調査することによって、対策検討地域に適する工法を選定する。なお、地下水に関する部署の観測データの収集をさらに継続して行う。

5) 井戸の利用状況の確認について

○昨年の基礎調査において実施した井戸の利用状況についてのアンケート結果から、井戸の利用者は①、②、④地区が 15% 程度であるが、③地区は 30% と多く、その用途の多くは雑用水であった。

○各地区とも飲料水と雑用水の両方に利用している井戸がある。これらのうち、一番浅い井戸は 3 地区で 0m～5m という回答もある。今回実施したアンケート結果より、対策工事を実施した場合に影響が懸念される 10m 未満の浅井戸は各地区に見られるため、今後、対策工法や施工区域の検討を進めながら、さらに詳細な井戸の調査を行う。

【①に対する質疑応答】

1) 地震応答解析について

(永瀬委員)

○前回同様、地表面加速度が 260gal 程度だと、熊本地震のレベル 2 地震動としては小さいと評価される。当初は基盤層上部の Ac3 層の減衰が大きいため動的特性値に問題があると思っていたが、それ以上に深度 255m の地中観測波形を 35m 程度の浅い基盤層に入力するのが果たしていいのかが疑問な点である。今後、地盤モデルの改良が必要と思われ引き続き検討頂きたい。

○液状化した箇所と液状化していない箇所の応答値が違ってくるのは確かである。入力地震動の設定がまとまったら、今度は近見の地盤を想定して有効応力解析を行えば地表面の加速度が液状化の影響で小さくなることも分かってくる。その辺をトータルで考えられればいい。

○地盤工学の石原先生が提案されている非液状化層と液状化層の関連で、200gal の加速度のときと 300gal の加速度のときの線が二つ引かれているが、加速度は液状化しなかったときの加速度ではなくて、液状化したときの加速度でないこの図は使えないのではないかと思う。先ほどの 260gal をこの図にそのまま適用するのではなく、地震応答解析や有効応力解析も考え、液状化したときの加速度が適正かを考えながら検討する必要がある。

(村上委員)

○周囲の加速度からすると小さくなっているため、心配である。日吉のところだけではなくて、できれば他の地点でこの手法できちんと説明できるのかどうかを確認することが必要である。

○地表面加速度は、表層の液状化と液状化に伴う剛性低下の影響で小さくなることは起こりうる。この点を踏まえ、解析結果を理論的に説明できることが必要である。

○応答スペクトルを用いて、住宅被害の倒壊する卓越周期と住宅の液状化ではない建物自体の被害との対応関係を検討し、液状化のみならずその他の被害状況についても説明できることが得られた地震応答解析結果の妥当性を検証する上で有効である。

○再計算して妥当な加速度が大きくなった場合、試算的に加速度を例えば 2 倍、4 倍にした場合、地盤の液状化判定がどれぐらい変わるのかを、代表的な地点で確認する。その結果、沈下量 (*Dcy*) や *Pl* 値自体は大きくなるので液状化危険度は上昇すると思われるが、ランク判定結果がどの程度変化するかを試算が、最終的な入力地震動の判断に有効であると思われる。

(松下委員)

○液状化対策で対象とする地震動の大きさは、地元を含めて共有すべき重要な情報となる。そのため、建物の壊れ方などの地震被害の状況を含めた総合的な理解のもとで検討を進めて頂きたい。また、液状化についての知識が無くとも理解が進むようにわかりやすい資料をお願いしたい。

○近見地区で検討している液状化対策は事前対策ではなく事後対策なので、液状化による被害の状況を踏まえた再度災害の抑止・抑制対策を検討することになる。液状化危険度と非液状化層厚の 2 軸の評価図に被害状況を落とし込んだ上で液状化被害リスクを判定することになるが、対策規模に関することから液状化危険度と非液状化層厚の境界値の設定について十分に議論して頂きたい。

(友清委員)

○地表面加速度のデータだけではなかなか住民の方は理解して頂けないと感じる。建物がどう壊れるかというところに住民の方の視点は向くと思うので、応答スペクトルをきちんと調べるのも大事だと思う。今の応答スペクトルと建物の被害の関係は、おそらく地盤が液状化したからではなくて、揺れたときに建物がどう揺れるかという判定であるので、それと液状化がどう絡むかをきちんと考えていかないといけない。

(市川副会長)

○想定地震動が、本当に 260gal でいいのかというのはまだこれからも検証しなければいけない。

(事務局)

○想定地震動の設定は、設計を進めていくうえで非常に重要であると認識している。液状化をしない場合とした場合の地表面加速度や応答スペクトルと建物被害の関係性など、被害の実態を捉えながら進めていく。今後も委員各位の意見を頂きながら進めていく。

2) As1 層と As2 層の取り扱いについて

(市川副会長)

○As2 層で液状化する可能性が出てきたということは、実証実験の深さを 10m～30m ぐらいまで考慮しなければいけないという形になってしまうので、As2 層の検証はもっと詳細に行ったほうがいい。

(永瀬委員)

○As2 層が液状化すると全層が液状化するという勘違いがあるかと思うが、おそらく予想としては、As2 層の上部が液状化するが、地表面への影響としては小さいと言えるのではないか。

(事務局)

○各工法の検討と合わせ、As2 層のどこまでを対策する必要があるのかも検討していく。今後も委員各位の意見を頂きながら進めていく。

3) 地下水位データについて

(市川副会長)

○液状化が起こった箇所に近接する力合観測井データも入れて頂きたい。

○熊本の場合には、布田層という薄い粘土層があり、その上にあるのが第1帯水層で、それよりも下の砥川溶岩層や阿蘇3以下の阿蘇2などの火砕流堆積物の中を通ってくるのが第2帯水層である。飲料水は第2帯水層の水を使っている。ただ、個別住宅の場合には、第2帯水層より浅い地下水を使っている場合がある。その場合には、第1帯水層を基本的に飲料水に使わないという方針であるので、雑用水に使う程度のはずである。

○地下水を排水する際に、周辺からどんどん水を引き込むため、白川の水も引き込んでくる可能性がある。遮水はしっかりしなければいけない。

○最近沿岸部の灌漑用水井戸がなくなったため、浅井戸の地下水位が上昇している。よって塩水化の危険性は少なくなる。

(永瀬委員)

○自由地下水の流れは複雑であることが考えられるため、深さによって流れが変化するため流向については別途測定する必要がある。

(村上委員)

○今後実際に対策工とかを事業化するときに考えていくべきところであるが、有明海は干潮と満潮の差が大きいため、白川、加勢川の河川水位が高くなることも考えられる。河川周辺の地下水は、河川水位等の影響も考えられるので、河川の水位も念頭に置くことも必要である。

(松下委員)

○調査を十分に実施する必要があるが、公金を支出する以上、効率的な調査を心がける必要がある。液状化対策で把握すべき地下水位は浅井戸で観測が可能だと思うので、できれば、地元の井戸の水位での確認や地元さく井業者の知見を頂くことで、効率化を図って頂きたい。

(事務局)

○今後また自由水面の地下水の流れについては調査をしていく。検討に必要なデータについても入手していく。

4) 井戸の利用状況の確認について

(友清委員)

○アンケートで井戸水の利用状況等確認しているが、今生活している方がそのまま住み続けることを想定し、今の生活があまり変わらないような対応を今後もして頂きたい。

②現地試験（揚水試験）の結果について

○日吉小学校地内において、揚水井を1孔、観測井をAs1層を対象に4孔、As2層を対象に2孔設置し、As1層とAs2層が同一帯水層であるかの確認、透水係数などの水理定数の算出を目的に揚水試験を実施した。観測井は揚水井から3m離れたところにW-2(As2層対象)とW-3、8m離れたところにW-4、約29m離れたところにW-1、約59m離れたところにW-5(As2層対象)とW-6の観測井を設置した。

○地下水位低下工法ではGL-3m程度の水位低下が必要となることから、少なくともGL-3m以深まで低下する揚水量が適切と判断し、段階揚水試験の結果から、急激な水位降下が生じた毎分84ℓを限

界揚水量と評価し、これの80%に相当する毎分67ℓを毎分約65ℓとして、これを連続揚水試験時の適正揚水量とした。

○連続揚水試験は、適正揚水量の毎分65ℓで揚水を開始したが、4時間を経過した段階で水位低下量が平衡状態を示さず徐々に低下傾向を示したため、連続揚水量を毎分60ℓに変更し連続揚水を実施した。その結果、揚水量毎分60ℓで地下水位低下量が平衡状態を示したため、24時間の連続揚水を実施し、揚水後、回復試験を実施した。

○連続揚水試験時の水位変化を見ると、揚水井の水位がGL-3.41mまで低下したとき、揚水井から3m離れた位置のW-3(As1層)では17cm低下、W-2(As2層)では5cm低下となり、As1層とAs2層で水位低下に差があることがわかった。

○水理定数値の算出結果、As1層の透水係数は、今回の揚水試験結果より「E-04m/sec」オーダー、As2層の透水係数については、前回実施した現場透水試験の結果より「E-06m/sec」オーダーと算出されており、2オーダーの差があることがわかった。

○揚水試験とあわせて実施したAs1層とAs2層の水質分析試験結果では、As2層の地下水(W-2)及びAs1層の地下水(W-3)の水質と、参考に、水質試験年報で公開されている川尻、富合、健軍の配水場の水質を比較している。W-2、川尻、富合、健軍の水質は、ヘキサダイアグラムの形状やトリリニアダイアグラムのポイントより同じような水質であることがわかった。しかしW-3は、形状、ポイントともほかの4カ所とは明らかに異なることがわかった。

○揚水試験、水質分析試験の結果より、As1層、As2層の両地層の境界には明確な不透水層の分布は認められないものの、別の帯水層を形成しているものと考えられる。今後の方針としては、揚水試験により算出された透水係数や透水量係数、貯留係数などの水理定数を用いて対策区域の周辺の地下水位の変動予測を行い、各工法の検討を行いたいと考えている。また、今回水理定数が得られたので、実証実験のシミュレーションを行うなど実証実験の設計へも生かしていく。

【②に対する質疑応答】

(市川副会長)

○井戸損失が相当大きいのではないかと。井戸の効率がすごく悪かったと思われる。ただ、水理定数は求められており、上のAs1層の透水係数は「E-04 m/sec」なので粗い砂の層とすることができる。下のAs2層は、「E-06 m/sec」なので、ややシルトが入っているシルト質の砂層と考えることができる。そのため、完全な砂の層がAs1層で、水で充満されているから、液状化が起きる可能性は非常に高いということになる。

(村上委員)

○地下水の汲み上げによる地下水位低下は周辺の地下水・地盤環境に影響されるので、対象地域の地盤・地下水特性を明らかにしたうえで、矢板などによる補助工法も踏まえながら検討していく必要がある。

○地下水を汲み上げたときに、周辺の地下水環境(水量と水質)にどのように影響するか、井戸を利用されている方など市民の生活への影響も踏まえながら工法を検討する必要がある。

③実証実験の候補地について

○前回の委員会以降も、近見地区で実証実験の候補地を探したが、今回再検討した結果、グラウンドが使用できなくなることから学校は実験場所としては困難と判断し、候補地から除外した。民有地、市

営団地は、対象区域の中になかったため候補地から除外した。また、解体が進んでいる空き地などをさらに探したが、実験ができるような広いスペースがなかった。そこで、公園を実証実験候補地として検証することとした。

○実証実験候補地の公園は、近見 1 丁目ふれあい公園である。こちらの公園の東側と西側の出入り口付近でボーリングを実施していたが、PDC（ピエゾドライブコーン）による追加地質調査を実施することにより、公園内の地質状況を確認した。

○公園内の P-1、P-2、P-3 の 3 カ所で PDC を実施した。公園内の A-A'断面図及び B-B'断面図のどちらの断面も表層に埋土層があり、その下に As1 層がある。一部 Ac1 層で粘性土が見られるが、全体的に砂質土が多く分布していることがわかっている。前回の委員会で示している広域地質縦断図でも As1 層のところどころに Ac1 層が見られ、この公園の地層においても同じような特徴が現れている。このことから、近見 1 丁目ふれあい公園にて実証実験を行いたい。

○実証実験の目的としては、地下水位低下工法が現地に適用できるのかを確認することを目的としている。確認する事項は、1.液状化防止のための目標水位まで水位を低下できるか、2.鋼矢板で支障なく遮水ができるのか、3.鋼矢板で仕切られた範囲の地盤や模擬家屋等に沈下が発生しないか、4.計画、設定した揚水施設の規模、配置は適切か、5.揚水した地下水の水量、水質等の面で支障なく排水処理が可能か、6.地下水位を低下させることによって、周辺に地盤沈下や井戸枯渇等の影響がないかなどが挙げられる。実証実験で観測する主な項目は、地表面の沈下、地層別の沈下、模擬家屋の不同沈下、周辺の地表面沈下、地下水位、揚水量としている。

○実験のスペースは、20m×30m程度を矢板で囲うことを想定している。観測項目について、沈下杭や層別沈下計、地下水観測孔などを設置し、把握したいと考えている。今後、実証実験の設計において、これらの適切な設置位置や矢板を打ち込む深さなど、公園施設や近隣の住宅に配慮しながら詳細について検討していく。

○今後の実証実験に向けて、地元住民とも話し合いながら、スケジュール案のとおり進めていきたいと考えている。次回の委員会で、詳細な観測項目や手法、また、観測の期間等について示したいと考えている。今後も委員各位の意見を頂きながら進めていく。

【③に対する質疑応答】

(永瀬委員)

○液状化の被害のあった中心からは少し外れていることが懸念されるようであるが、地盤の図を見ると、As 層があってその下に Ac1 層があるということで、後で地下水位を下げたときの影響などを見るということも考慮し、この場所を実験場所の対象とすることは可能と考える。

(松下委員)

○遮水矢板の施工深度は遮水区域内への地下水流入量・ポンプ排水量及び工事費用・維持管理費用を勘案して決定するようにお願いしたい。そのため、この実証実験を通じて必要なデータを得る必要があるため、観測項目、施工の手順・段階などについて事務局から提示して頂きたい。

○この実証実験は、地元の方に市街地液状化対策を理解して頂く良い機会となるので、実証実験ができる限り地元の方に見て頂いて、計画をどう考えたか、どういう必要性からこのように検討したかといったことをわかって頂くように丁寧に説明して頂きたい。

(村上委員)

○この地盤が今回の地震で液状化したところを対象にしているのか、そうでないのかというところは、

同じように F_L 値の計算等をして、どこの部分が A 区分、B 区分、C 区分の点にあるのか、これを水位低下させることによってどこに移動するのか、事前に目標設定をするという。

○白川に近接している地域では、地下水位が白川の水位に影響されることが考えられる。そのため、実証実験前に、白川の水位と対象地域の地下水位の関係について観測データを用いて把握しておく必要がある。

○実証実験における地下水位低下量の目標値の設定を明確にする。また、矢板の打設深度は、対策工事費も含めた検討をしておく。

(友清委員)

○模擬家屋の件で不同沈下を調べるということだが、模擬家屋の基礎形態が今回示されていない。実際に近見に建っている建物がどういった基礎であるのかが非常に重要になってくると思うので、現在住まれている方の住宅がどういった基礎形式なのかをきちんと調べておいたほうがいい。

(市川副会長)

○このあたりは、白川の影響が出ているだろう。多分白川の河川水位に連動して変化しているはずである。

○いきなり深く矢板を入れ込むのではなく、段階的に矢板を深くするような工法で実験できないか。As1 層と As2 層では 100 倍透水係数が違うので、下から漏れる量はそれほど多くないはずである。粘土層までいきなり根入れするよりは、As2 層に少し根入れを入れた場合や、それより押し込んだ場合というようにいくつかのケースでしたほうが、効率的にいいのではないか。別の場所に同じようにつくるのではなく、1 カ所で何段階か実験できるような方法にしたほうが、経済的だと思う。

(北園会長)

○模擬家屋の単なる自重による沈下が考えられるので、沈下が落ち着いた状態から地下水の排水ができるよう、模擬家屋の設置を早期にできるよう検討すること。

(事務局)

○今後どのような形で実験を行うのか、地元住民へ説明しながら進めていく。

○模擬家屋の基礎形状については、近見地区の住宅の基礎形状を踏まえ検討していく。

○実験の公開については、公園であれば、地元の方も気軽に来て頂ける場であると考えている。地元の方と話し合いながら進めていく。

○白川の水位の観測や、工事費等のコスト的なものも踏まえ検討、設計を進めていく。

○排水先の流量的なもの、降雨時期等も考慮しながら、計画していく。

○模擬家屋の設置のタイミングについても、今後設計を進めていく。

6. その他

(村上委員)

○「空中写真判読による平成 28 年熊本地震で生じた前震・本震による液状化地域の比較」の資料提供

(松下委員)

○「宅地液状化の実態と対策上の課題」の資料提供

7. 閉会