『第７回災害対策セミナー in 神戸　主催：神戸の減災研究会』の開催報告

１．はじめに

　標記セミナーが，２０１４年１月２２日（水）午後１時２０分〜5時２０分の４時間に亘り，１１５名の参加者を得て，ポートアイランドにある神戸国際会議場５０２号室で開催された．本セミナーのテーマは，『近未来の神戸の減災を考える』であった．[プログラム](http://kobe-gensai.com/pdf/_02.pdf)に示すように，東京大学生産技術研究所の桑野玲子教授をお招きし，『地盤陥没の地中空洞の生成・発達のメカニズムとその調査事例』と題する[特別講演](http://kobe-gensai.com/pdf/_03.pdf)を賜った．その後，本研究会のオブザーバーである神戸市より，末永清冬 道路部長，畑 恵介 下水道河川部長および吉井 真 みなと総局技術部長から，それぞれの部局における近年の減災の取り組みと今後の行政ニーズについてご講演頂いた．最後に，桑野教授，藤田一郎教授（神戸大学大学院），末永部長，畑部長，長谷川憲孝 みなと総局課長をパネラーとしたパネルディスカッションを開催し，最後に澁谷が本セミナーを総括した．

２．開会の挨拶の要旨（神戸の減災研究会会長）

　まずは，例年にも増して多数の参加に謝意を表した．最近，自然災害の防災・減災の分野を始めとした医学，社会学の多くの分野で，レジリエンスという言葉が浸透しつつあり，『レジリエンス：復活力—あらゆるシステムの破綻と回復を分けるものは何か』（アンドリュー・ゾッリ，アン・マリー・ヒーリー著，ダイヤモンド社）という書籍を紹介し，本研究会の原点は平成７年の阪神淡路大震災，ルーツは平成１１年に発足した「神戸の地盤研究会（当時：沖村孝 元会長，現顧問）であることを述べ，『被災者それぞれの蘇生力が災害からの復活力の源泉であり，復活の過程で生まれた知恵・技術を地域社会で共有し広く発信することが重要である』との本書の指摘は，まさしく本会の活動史そのものであると述べた．

　さらに，近年，例えばゲリラ豪雨等による都市災害の形態は多様化ならびに巨大化しており，一方，来るべき南海地震も市民の脅威となっている．『市民や行政のニーズをいち早くキャッチし，今後の研究の方向性を産官学の技術者で議論すること』が，本セミナーの趣旨であると説明した．

　最後に，本セミナーでは，様々な制約を伴う施策の現実と技術者としての理想の両側面を同じテーブルで議論するため，後日，個別の発言の責任を問うようなことがないよう参加者に丁寧にお願いした．

３．パネルディスカッション

３．１　水に起因する災害

１）地盤陥没

　最近，神戸市においてもしばしば地下空洞に起因する道路陥没が発生しているとの報告があった．このような地下空洞発達の潜在的要因として，構造物（橋台，埋設管，等）周辺の埋め戻し地盤の締固め不良が挙げられる．この様なゆるい状態にある地盤内に地下水浸透が生じると，不透水構造物の近傍に水みちが形成され易く，これが『空洞の芽』となると桑野教授は指摘した．さらに，透水性の悪いシルト質土や粘性土を埋め戻し材として用いた場合には，軟弱層の圧縮・圧密に起因した空洞の芽が形成されやすいこと，また地下水面上の不飽和地盤が繰り返し乾湿作用を受けるとコラプス現象により，地下空洞が生成・発達する可能性も指摘した．一方，室蘭のゴルフ場陥没事故の事例のように，沢埋め盛土の造成地においては，沢水による地中浸食が引き金になる場合もあるし，河床浸食に伴う吸い出し現象による河川沿い道路陥没の事例も多く報告されている．

これまでの数多くの事例から，潜在的な地盤陥没発生箇所とその素因・誘因は，以下のようにまとめられよう．

|  |  |
| --- | --- |
| 地盤陥没発生危険箇所 | 素因/誘因 |
| 構造物（橋台背面，埋設管等）の近傍 | 地盤の締固め不良/地中浸透水 |
| 河川護岸沿いの道路 | 河床の洗掘/豪雨時の吸い出し |
| 谷埋め盛土 | 旧沢筋沿いの浸透水/浸食・乾湿繰り返しによる盛土材のコラプス現象 |
| 採石跡・廃坑 | 人為的な“空洞の芽”の形成 |

　地盤陥没の兆候(symptom)を捉えるのは難しい．陥没危険箇所がある程度特定できれは，陥没発生前に地盤表面に局所的な変形（クラックを含む）が生じるであろう．ただし，いつ兆候が現れるのか分からないし，地中空洞の直上が陥没箇所とは限らない．一方，谷埋め盛土の沢水による地下浸食の場合には，陥没前に流末の沈砂池に細粒な土が堆積する兆候が見られる場合がある．

　古くから『大事の前に小瑞なし』とよく言われるが，地中では間違いなく瑞相（兆し）が深く進行している．この兆しが何で，いかに予測モニタリングに結びつけるか，今後の研究テーマであろう．

　地下空洞の一次調査では，地盤を傷つけず迅速な非破壊探査法が適当である．桑野教授から，各種非破壊探査法の中でもレーダー探査が有望であるとの報告があった．ただし，信頼できる探査深度は２m程度以浅であり，周辺地盤に金属物がある場合には信頼性が乏しくなることも報告された．その意味では，道路には適当であるが，線路のある鉄道には適用が難しいかも知れない．

　研究会メンバー（代表幹事）の[八谷誠](http://kobe-gensai.com/pdf/_04.pdf)は，JR西日本で実施した地下空洞のブラインドテストの結果を引用し，微動アレイ探査が有望であったことを紹介した．一方，表面波探査で扱うせん断波は，深くなる程波長が長くなるので，波長よりも小さな空洞をキャッチすることは原理的に不可能である．そこで桑野教授は，表面波探査により，空洞の芽となる構造物周辺の地盤のゆるみを大まかに捉え，レーダー探査等で空洞の存在を特定するという『合わせ技』の探査手法を提案した．

　つぎに，予防策を議論した．まずは，新設工事では，RC構造物や埋設管の周辺の地盤を良質土を用いて念入りに締固めることおよび浸透抑制が大事である．必要に応じて，軟弱土層を改良することも有効である．改良材としては，セメント，鉄鋼スラグ，等が考えられる．また，谷埋め盛土の沢水による浸食を予防するためには， 地下暗渠工，盛土防水工，集水井，等により水みち，湧水の存在を許さないことが最も効果的である．

２）都市型水害

　近年ゲリラ豪雨が多発し，河川の増水，下水管の内水氾濫等の都市型水害が神戸市でも大きな問題となっていること，神戸市を含めた兵庫県の取り組みとして，雨水流出量のピークカットのために雨水貯留施設の設置が検討されている実態が紹介された

　雨水流出量のピークカットのための方策として，雨水を一時的に貯留して後に放出する施設の増設の他に，浸透桝等を設置して雨水を地盤内に積極的に浸透させる方法もある．研究会のメンバーである[村地恵里奈](http://kobe-gensai.com/pdf/_05.pdf)は，昨年度に兵庫県下で実施した浸透適地マップ（案）作成の取り組みを紹介した．３次元地形地盤モデルを構築し，これに過去１０年間の当該地域での年間降水パターンをシミュレートした雨を降らせ，水はけが良くて地下水上昇が小さい場所を浸透適地とした．今年度は，地盤モデルのキャリブレーションのための地下水位観測を実施する予定であること，神戸JIBANKUNを活用した同様な３次元地盤モデルの作成も可能であろうことを報告した．

　藤田教授は，最近のゲリラ豪雨の特性，神戸市特有の地形ならびに都市化により雨水浸透面積が激減している点を考慮すれば，雨水貯留と雨水浸透の２種類の対策を同時進行で進めることで雨水流出抑制の実効性が期待できるとコメントした．さらに，沖村孝名誉教授（顧問）は，治水ばかりでなく貯留量を増やすため利水を促進することの重要性を指摘した．

３）河川の洪水・水害予測

　研究会メンバーである[甲斐誠士](http://kobe-gensai.com/pdf/_06.pdf)は，２００８年７月都賀川での痛ましい事故を踏まえて，研究会ワーキングで独自に取り組んできた神戸市東部を流れる住吉川の洪水予測に関する事例研究を紹介した．出水予測には，最新の降雨観測技術の活用が出水情報（時間、位置、量）の高精度化のための決め手となること，また住民への情報周知の方法，すなわち河川の出水の特徴や地域の要望等を勘案し、効果の高い情報伝達手法を用いることが重要であることを強調した．藤田教授は，出水警報システムの住民への周知方法，警報の“空振り率”の低減，等が今後の課題であると指摘した．

３．２　地震に起因する災害

１）既設盛土の耐震化

　神戸市においても既設の道路盛土の耐震化，とりわけ大震災のときに原型復旧された盛土の崩壊原因の解明と対策は，今後の検討課題の一つであるとの報告があった．この報告を受けて研究会メンバーの[片岡沙都紀](http://kobe-gensai.com/pdf/_07.pdf)は，神戸市における既存の大規模宅地盛土耐震化事業の現況，耐震化対策等に関しての研究成果を紹介した．

　既設盛土の耐震性の現況評価は，現行設計法による照査が第一ステップとなる．一方，現実問題として，レベル２地震を想定した照査の場合，数多くの盛土がアウトになり，対策が追いつかない可能性が高い．そこで，第２ステップとして，現行設計法のリダンダンシー（redundancy）を是正した照査も検討に値する．設計は，常に最悪のシナリオを想定するため，次の表に示すように調査，試験，解析段階のそれぞれにおいてリダンダンシー（余剰分）がある．これらを現実に即した形に是正することも今後議論すべきとの意見があった．

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 項目 | 設計 | 是正 | 備考 |
| せん断強度 | 仕様（砂：φ=30°）粘着力c=0 | 室内せん断試験見かけの粘着力 | 飽和状態不飽和状態 |
| 地下水位 | 盛土高の1/6〜1/3 | 水位なし | 観測・対策が必要 |
| 解析法 | 極限つりあい法（破壊問題） | （残留）変形解析（性能問題） | 全応力法解析or有効応力法解析 |

２）津波対策

　神戸市では，高潮対策としての防潮堤の嵩上げ，水門の基礎地盤の耐震化が概ね完了しており，これらの対策が想定される津波に対して十分に有効であるとの見解が示された．

　研究会メンバーである[野並 賢](http://kobe-gensai.com/pdf/_08.pdf)は，粘り強い防潮堤の構造について最近の動向を紹介した．とりわけ，鉄鋼スラグを盛土材料として用いた防潮堤の構造的な特長について議論した．一方，国際ジオシンセテックス学会日本支部のジオテキスタイルによる粘り強い強化防潮堤開発委員会が，『ジオテキスタイルによる粘り強い強化防潮堤　設計・施工マニュアル（案）』を策定中である．これによれば，「粘り強い（構造）」とは，津波が天端を越流した場合であっても，施設が破壊，倒壊するまでの時間を少しでも長くする，あるいは施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らす（構造上の工夫を施す）こと，と定義されている．従来工法の課題として，

1. 常時において，長期間にわたり盛土材の収縮や圧密沈下に伴って被覆工の不陸や被覆工の背面に空洞が生じる．津波が堤防を越流する際，これらの変状は流水による抵抗を生む原因となり，構造上の弱点となる．
2. 地震時において，i)基礎地盤の不同沈下，ii)揺すり込み沈下，iii)法面のすべり，iv)天端付近の引張クラックなどの損傷が生じると，根固工の沈下，被覆工の滑動や不陸，目地の開きなどが生じ，津波越流時の耐侵食性が著しく低下する．
3. 津波越流時には，越波水の落下による衝撃的な波圧に対する被覆工の安定性，越流時では越流水による揚力・抗力および洗掘力に対する被覆工や根固工の安定性，さらに盛土内への動水圧や浸透流に対しても安定性を検討する必要がある。また，外水位の変動に伴う盛土内残留水圧に対するすべりなどの安定性についても検討が必要になる．

　一方，ジオテキスタイルを用いることにより，被覆コンクリートと盛土の一体化や，盛土の面状補強が実現でき，地盤の変形に対する高い追従性や津波の来襲に対する安定性を有する防潮堤を構築することができる．堤体盛土では，ジオテキスタイルの面状補強効果により想定する作用（L1，L2地震動等）による変形を抑制し，天端高を維持する効果を有するとともに，ジオテキスタイルによる盛土補強効果により，壁面勾配の急勾配化が可能な構造が実現できる．さらに天端工・被覆工の特長として，ジオテキスタイルを介して盛土に定着させることで，常時および地震時の基礎地盤や盛土の沈下に対する追従性を確保でき，津波来襲時における衝撃荷重や越波・越流による滑動や引き剥がれ等に対して安定性が増す．

　田中優子 法政大学教授は，「レジリエンス　ｒｅｓｉｌｉｅｎｃｅ」は新しい目標として世界に広まりつつある．外部から力を加えられて崩壊しかかった人やものやコミュニティーや組織が、立ち直る力のことである。復活力、復元力と訳されるが、完全にもとに戻ることではなく、働きと健全性が維持できる程度に戻ることを意味する．いま東日本では、津波対策として極めて高いコンクリートの防潮堤を海岸に巡らす計画が進んでいる。これはレジリエンスとは正反対の方法だ（朝日新聞掲載2013.4.14）と評している．

４．閉会の挨拶（神戸の減災研究会副会長）

　特別講演の桑野教授，ご講演頂いた神戸市の末永部長，畑部長，吉井部長そしてパネリストの方々とフロアーから討議に参加頂いた多数の参加者の方々に謝意を表し，１年後も研究会主催の同様なセミナーを企画する予定であると述べた．

（文責：澁谷啓）