

**液状化現象が舗装に及ぼす影響
とその対策**
-空港舗装を例に考える-

独立行政法人 港湾空港技術研究所 特別研究官 菅野高弘

Sept. 05 2012 JSCE Nagoya

**港湾・空港・道路などの社会インフラに
災害直後に求められる機能**

- 緊急物資輸送、復旧資材輸送 移動手段の提供
- 救援・復旧活動基地 オープンスペースの提供
- 避難場所の提供 オープンスペースの提供
- 空路(ヘリコプター・航空機等) 迅速輸送
- 海路(船舶) 大量輸送
- 陸路アクセス(道路・鉄道) きめ細かな輸送

- 緊急物資の保管・備蓄
- 瓦礫の受入れ

災害直後の対応

時間を追って、対応が変わっていく

数日 一週間程度 一週間程度 一ヶ月程度 一ヶ月程度 数ヶ月程度 数ヶ月程度 大規模災害	暫定供用の可否判定(利用性) ○救急活動基地 ○緊急物資輸送／救援物資輸送
	暫定復旧工法の選定及び施工(修復性) ○復旧物資輸送
	本格復旧工法の選定及び施工(修復性) ○復旧・復興物資輸送 ○地域経済活動の再開支援

平成7年兵庫県南部地震
数百年～数千年に一回発生する地震
土木・建築構造物 供用年数 50年

レベル1地震動:
供用期間中に1～2回程度発生する地震動
軽微な被害、補修せずに直後から使える

レベル2地震動:
対象地点で、過去から将来にわたって発生するであろう最大級の地震動
損傷は許容するが、人命は守りたい
経済的損害を出来るだけ小さくしたい

地震・津波の発生から被災まで

**地殻変動
(断層運動)**

秒速200m ～ 10m
(水深4000m) (水深10m)

→

対象施設

岩盤・地盤

秒速7000m～50m
(岩盤) (軟弱土)

→

地震被害

海水 $C = \sqrt{g \times h}$

→

津波被害

従来は、個別に設計されていたが、
実被害は 複合被害の可能性が大きい

地震による施設被害の要因

- 揺れの強さ(加速度)による被害 ← 大きくなる
- 揺れの速さ(周波数)による被害 ↑
- 共振：構造物と地盤の揺れが一致 応答加速度
- 地盤の劣化・部材の劣化
液状化 常時は堅いが、突然液体状に
繰り返し载荷による損傷の進行
- プレートの動きに伴う被害
メートル単位の即時沈下 防潮堤高さ

設計ミス／施工不良／維持管理不良は論外

津波による施設被害の要因

- ・ 波圧による被害
 衝撃波圧・重複波圧・遡上波圧・越流波圧など
- ・ 流水力による被害
 海水と施設間の
 摩擦力・抗力・揚力・慣性力・造波抵抗力など
 船舶・コンテナ・流木などの衝突
 瓦礫を含んだ混相流
- ・ 浮力による被害

設計ミス／施工不良／維持管理不良は論外

地震と津波複合被害

先に 地震動作用、
 次に津波作用
 秒速7000m～50m
 地殻変動 (岩盤) (軟弱土)
 (断層運動) 秒速600m～100m (水深10m)
 ・ 余震による繰返作用 (数週間)
 ・ 津波の第二波・第三波・・・
 海水 (1日程度)

地震被害
 対象施設
 津波被害

誰か、被害が進行する過程を見た人はいますか？
 犯罪捜査と同様に、証拠を集めて犯人捜し！！

最悪のシナリオを考慮した 今後の津波対策

対象津波	要求性能
頻度の高い津波 (近代で最大、数十年～数百数十年に1回程度の発生確率) 津波防護レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防災 ・ 人命を守る。 ・ 財産を守る。 ・ 経済活動を守る。
最大クラスの津波 津波減災レベル	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減災 ・ 人命を守る。 ・ 経済的損失を軽減する。 ・ 大きな二次災害を引き起こさない。 ・ 早期復旧を可能にする。

言っていることは何となく分かる、美しい概念
 しかし、実際にどの様に設計し、
 照査すればよいのか？

空港土木施設に関する液状化時の検討課題

【過去の大地震に見る前施設の地震被害】

【空港では？1964年新潟地震の新潟空港被災事例】

【液状化対策の方針】

極大地震が起きた場合、要求される性能を踏まえ、対策方法を決定。

設計荷重、地震動が責任と異なる
 合理的な設計 コスト縮減
 平坦性 支持力 地中の空洞
 エプロンの圧境



供用空港の場合、施工は最終便から始発便までの間
 例えば23:30～4:30

実物大の空港施設を用いた人工液状化実験

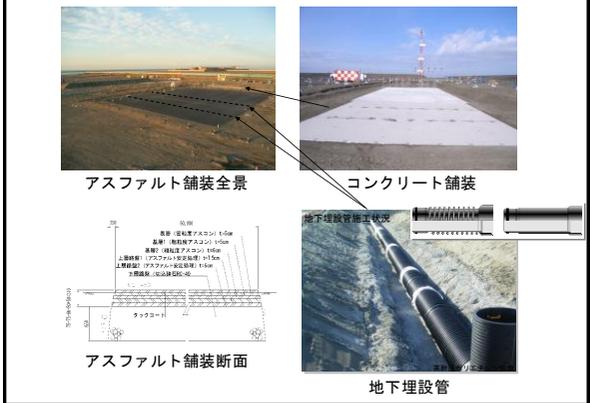
【実験の主目的】

- 空港土木施設(滑走路、地下埋設物、電波施設)が、地盤の“液状化現象”によりどのような影響を受けるのか？
 ⇒ 現象の把握
- 合理的且つ経済的な液状化対策はどのように設計すればよいのか？
 ⇒ 液状化対策工法
- 供用再開可能な判断基準、発災時における滑走路等の機能維持のための対策は？
 ⇒ 供用の可否判定

実験場の全景



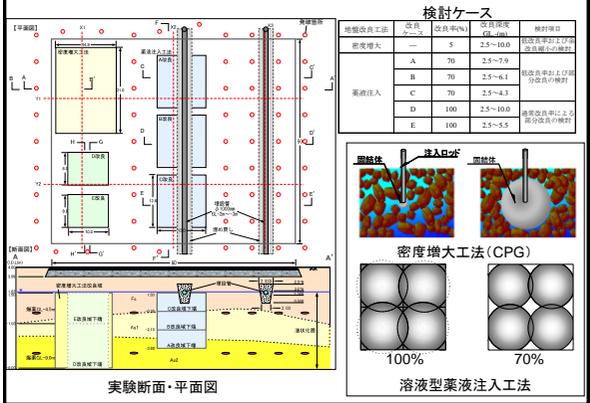
実験用試験体(舗装)



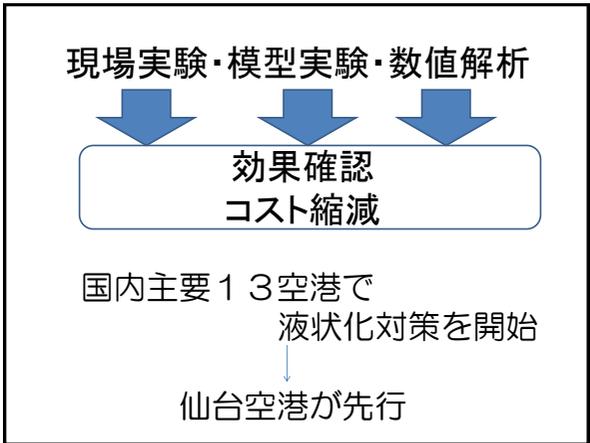
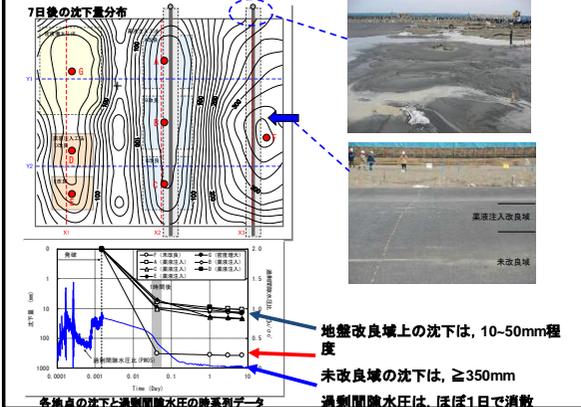
実験で試した液状化対策工法リスト

地盤改良工法	改良の種類	検討内容
静的圧入締固め(CPG)工法	密度増大	低改良率, 施工ピッチ拡大によるコスト縮減・工期短縮, 余改良範囲縮小による構造物の性能の評価
浸透固化処理工法	薬液注入	低改良率, 部分改良によるコスト縮減・工期短縮, 部分改良による構造物の性能の評価
超多点注入工法		部分改良によるコスト縮減・工期短縮, 部分改良による構造物の性能の評価
クロスジェット工法	ジェットグ ラウト	滑走路への適応性の検討
ジオバスタ工法	ジェットグ ラウト	滑走路への適応性の検討
バットレス状改良	固結工 法および 密度増 大	護岸付近の測方流動対策, 面的な改良率低減によるコスト縮減
マイクロバブル(MB)による改良	不飽和化	施工方法の確立および実地盤に対するMB水混入による飽和度低下効果について検討

滑走路直下地盤の液状化対策仕様



滑走路の変状観測結果





- **液状化対策の効果**
既存施設の対策 時間と費用がかかるが、
「対策しておいて良かった！」
 - **余震による被害拡大** > 迅速な応急復旧が求められる
 - **仕様設計(旧基準)と性能設計(新基準)**
概ね旧基準で整備されていた
作用地震動と被災程度を整理し、性能設計の
視点で再評価 (使用性・修復性・安全性)
→ 照査手法の高精度化
- 津波作用により地震動による被害痕跡が良く分からない
過去の事例との比較から、消去法で被災原因を推定

作用	定義	要求性能	備考	
レベル1地震	供用期間中に1~2度発生する地震動(概ね75年期待値)	ほぼ無被災、あるいは軽微な被災程度(使用性確保)	阪神大震災以降 十五年程度で設計体系として定着	
レベル2地震	過去から将来にわたって、対象施設に作用する最大クラスの地震動	損傷を許すが、対象施設によって損傷程度を制御する。(使用性、あるいは修復性を確保)		
津波を誘発する地震	発生頻度の高い津波 波源 最大級の津波		概念から設計へ但し、性能を要する	
発生頻度の高い津波	数十年~数百年に1度程度発生する津波	人命を守りたい、資産を守りたい 経済活動の停滞を避ける		できるだけ、施設で防災を達成する
最大級の津波	発生確率は低いが、発生した場合に甚大な被害が発生する津波	人命を守りたい 経済活動の損失を低減したい 二次災害の発生を避けたい 迅速に復旧できるようにしたい		多重防護による減災 ハードとソフトの両方を活用

液状化(地震)と舗装

- 「新規施設」 多数の対策工法, 工費は比較的安価
- 「既存施設」 **供用しながらの対策**
 - ・技術的に難しい, 工費は比較的高額 工期も長い
 - ・非破壊で耐震診断が必要, 対策工法選択, 設計
- 「目的」「要求性能」までは, 説明・合意が比較的楽
- 「性能規定」 工学的指標と被害程度の関係?
 - ・【使用性】【修復性】【安全性】
- 「性能照査」 数値解析で段差が評価できるか?
- 地震と津波の複合作用 現象把握も出来ない

性能照査 数値解析での課題

- ・ アスファルト舗装のモデル化
 - 地震時 速度大
 - 弾塑性体? 剛塑性体?
 - 液状化後の過剰間隙消散時 速度小
 - 粘弾塑性体?
 - ひび割れや段差を解析で評価できるのか
- ・ 路盤のモデル化
 - 粒状体をどの様のモデル化するか?
- ・ 層構造としてのモデル化
- ・ 流体作用に対する応答は? 難問山積!