

共同溝の長寿命化・不同沈下対策・耐震化 に関する検討結果

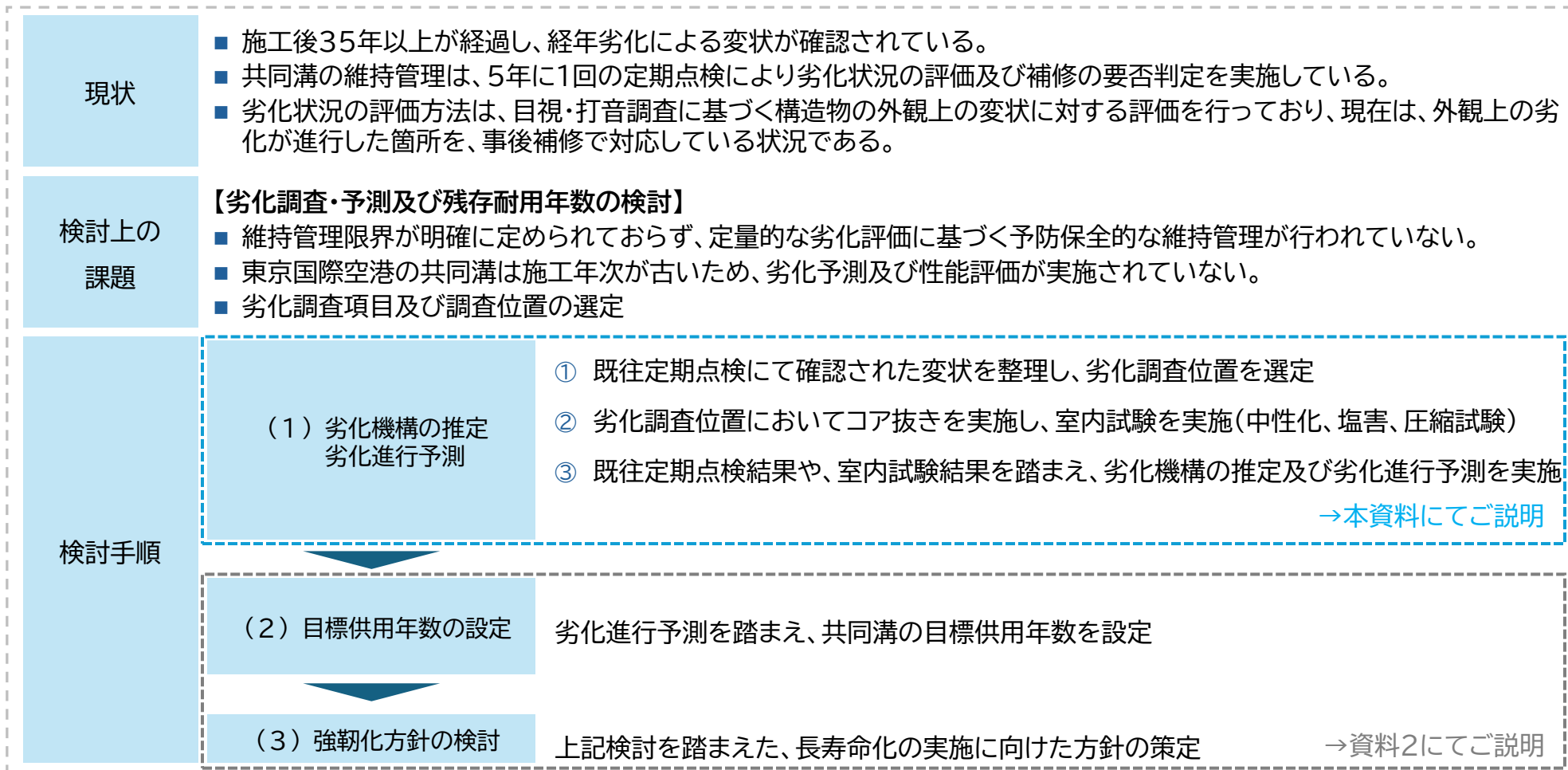
目次

(1)長寿命化に関する検討結果	・・・ P.2
(2)不同沈下対策に関する検討結果	・・・ P.9
(3)耐震化に関する検討結果	・・・ P.13

(1)長寿命化に関する検討結果

長寿命化の検討方針

■ 長寿命化の検討方針



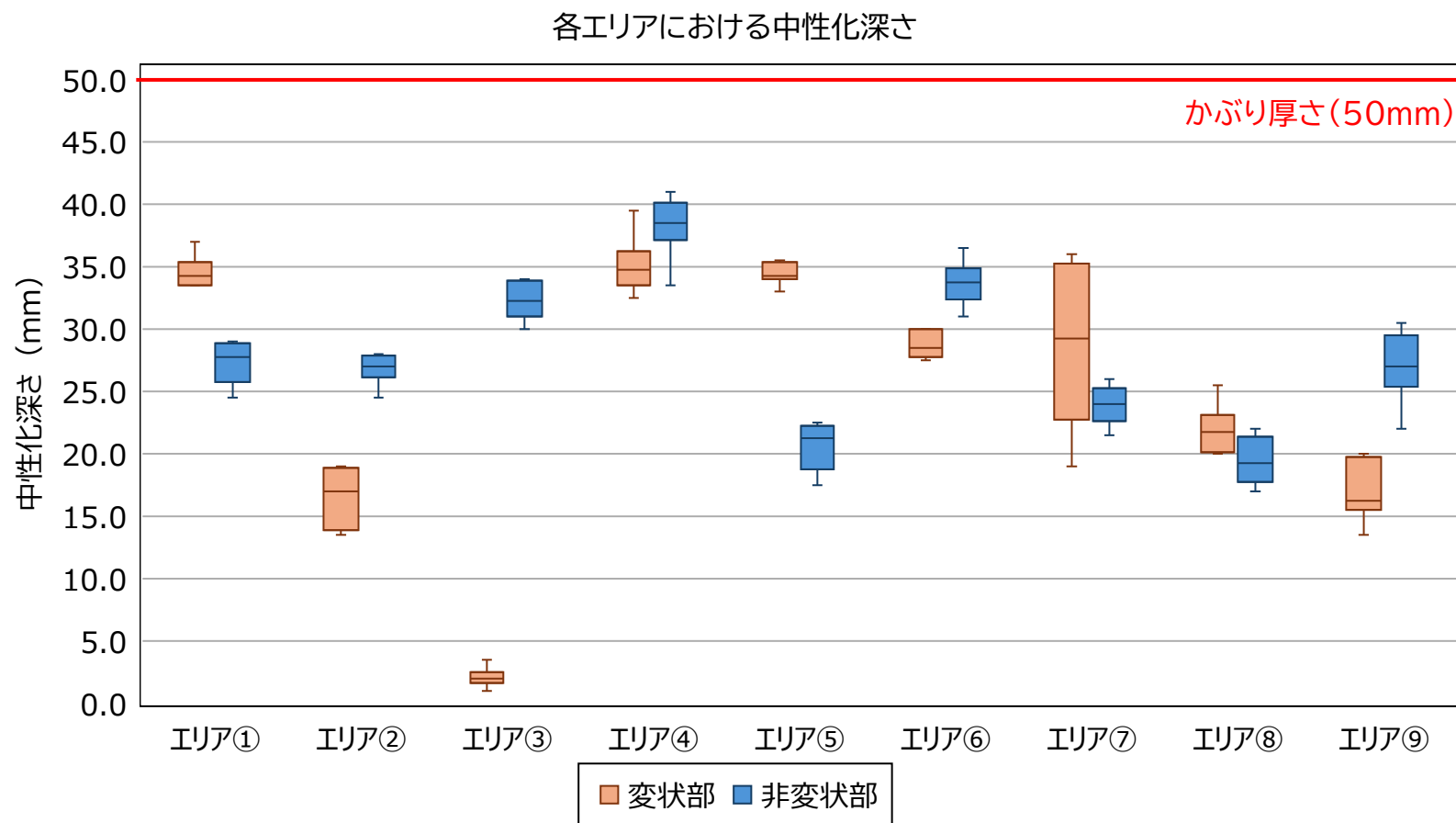
■ 劣化調査位置の選定

- 羽田空港の沖合展開時期や地上施設区分に基づき、共同溝を9箇所のエリアに区分した。
- その上で、区分した各エリアにおいて、定期点検で確認されている、共同溝躯体の老朽化に起因する変状(ひび割れ、剥離、うき、漏水)が最も顕在化している躯体(変状部)と、最も顕在化していない躯体(非変状部)を選定し、各躯体で2本ずつコアを採取し、室内試験を実施した。 ※【コア採取数】9エリア×2組(変状部・非変状部)×2本=36本

推定した劣化機構に対する調査（中性化）

■ 中性化深さの調査結果

- 中性化深さは、「エリア③ 変状部」を除き、概ね20～40mmの範囲に分布していた（平均26mm）。
- このうち、最大値は41mm（エリア④ 非変状部）であり、これは、一般的な鋼材腐食発生の目安とされる、「中性化残り10mm」を下回っていたものの、いずれのエリアにおいても、かぶり厚さである50mmまで至っていない。
- このことから、現時点において中性化による劣化の可能性は低いと考えられる。

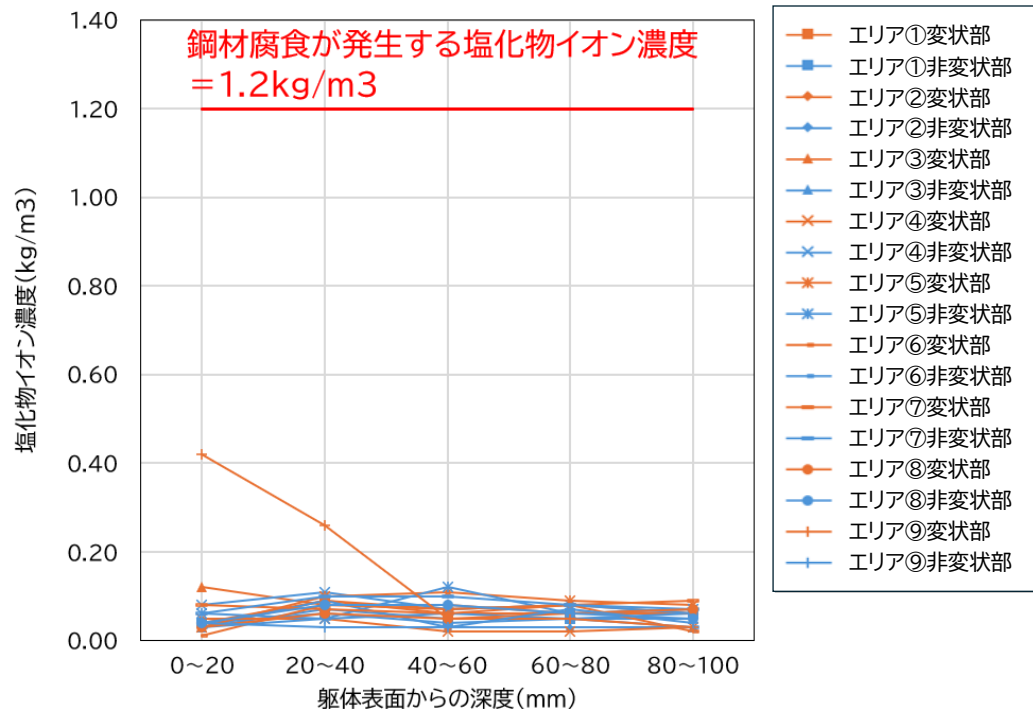


推定した劣化機構に対する調査（塩害）

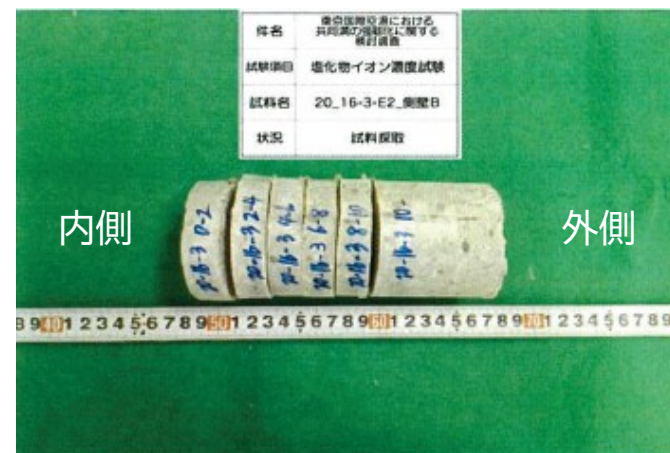
■ 塩化物イオン濃度の調査結果

- 「エリア⑨ 変状部」を除くすべての箇所において、塩化物イオン濃度は約 0.13kg/m^3 未満であり、鋼材腐食発生の一般的な目安とされる腐食発生限界値(1.2kg/m^3)と比較すると非常に小さい値であった。また、深さ方向への濃度変化もほぼ確認されなかった。
- 一方で、「エリア⑨ 変状部」では、塩化物イオン濃度は躯体表面付近で比較的高い値を示すものの、鉄筋かぶり付近(40~60mm)では約 0.05kg/m^3 と非常に小さく、塩化物イオンは鉄筋位置まで到達していないものと考えられる。
- 以上より、全体として現時点における塩化物イオンによる劣化の可能性は低いと考えられる。

各エリアにおける塩化物イオン濃度



試験コアの例

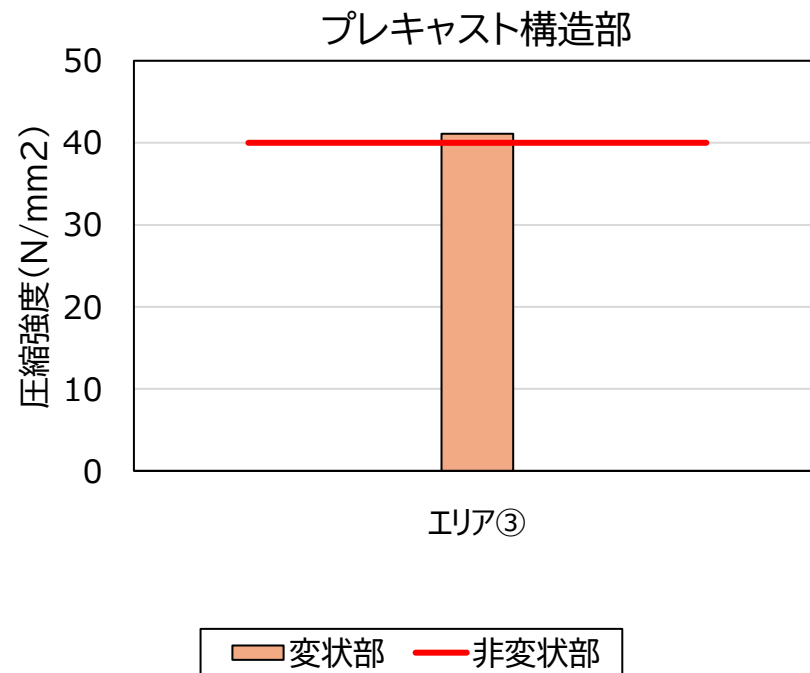
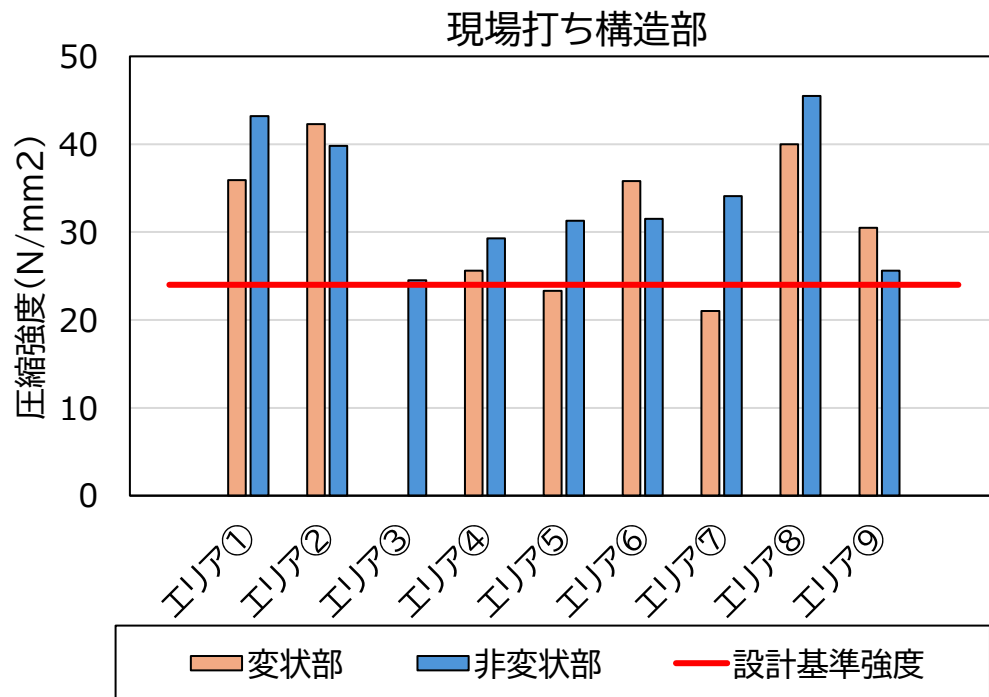


推定した劣化機構に対する調査（圧縮強度）

■ 圧縮強度試験の結果

- 圧縮強度は、一部(エリア⑤、⑦)の変状部を除き、設計基準強度を満足する結果となった。
- 一方で、一部(エリア⑤、⑦)の変状部では、設計基準強度を満足しない結果が確認された。ただし、今回の調査は、各箇所につき1本のコアによる試験結果に基づくものであり、試験結果には、コア採取時の影響等に起因するばらつきが含まれる可能性もある。
- 以上より、設計基準強度を満足しない結果も一部箇所では確認されており、当該箇所については留意が必要であるものの、全体的には、圧縮強度の著しい低下を示す傾向は確認されなかった。

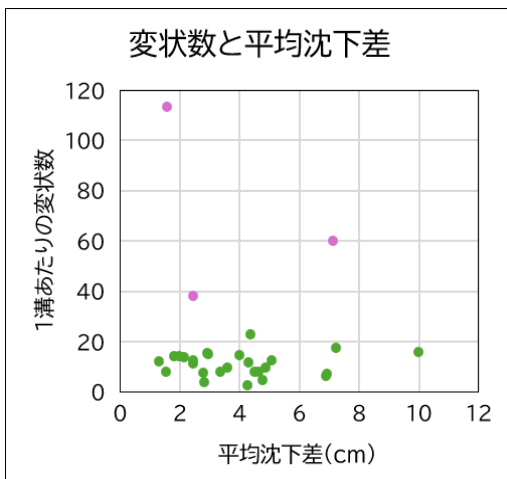
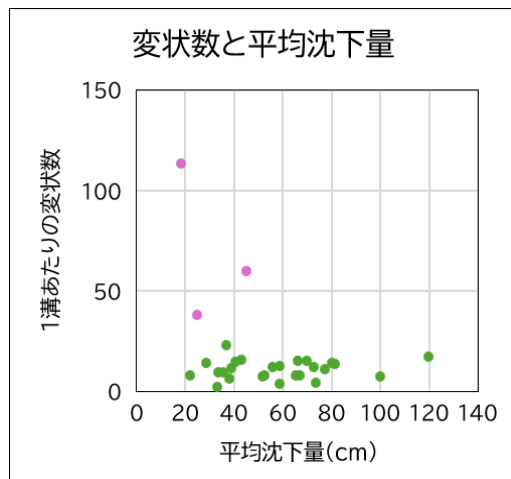
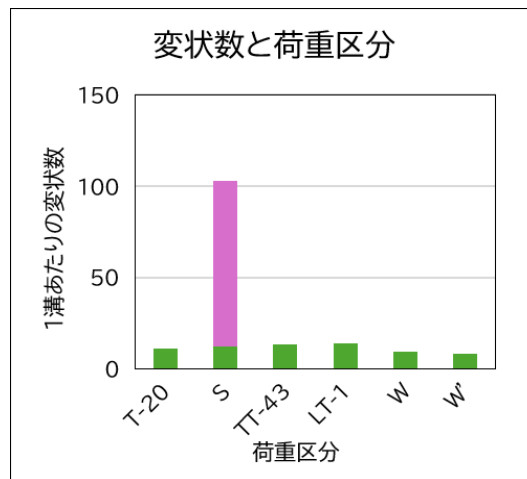
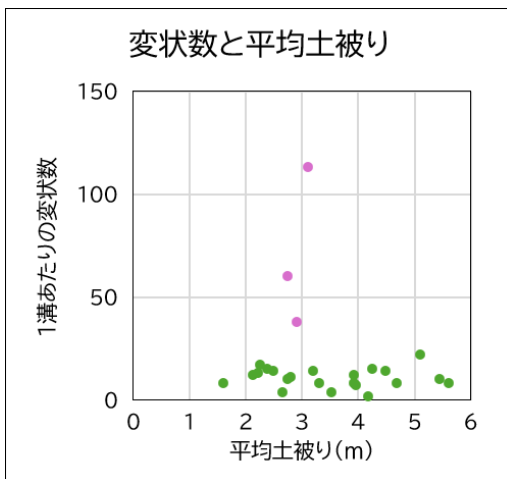
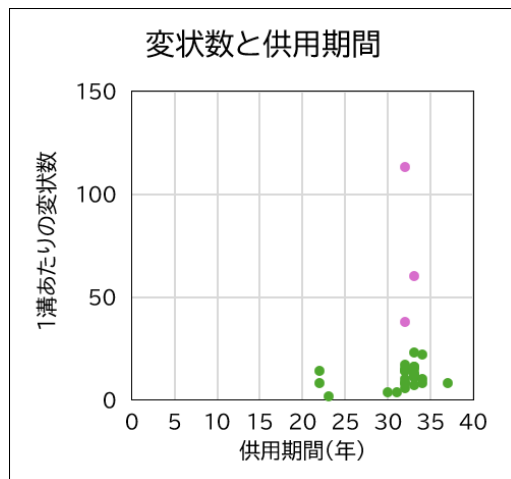
各エリアにおける圧縮強度



変状の発生特性の整理

■ 変状数と各種要因の関係

- 定期点検結果より、各地区における「供用期間」、「平均土被り」、「荷重区分」、「平均沈下量」、「隣接躯体との平均沈下差」に着目し、主要な変状である「ひび割れ」、「うき」、「漏水」、「剥離・鉄筋露出」の変状数との関係を整理した。
- その結果、これら変状発生に関係すると考えられる要因と、変状数との間に明確な相関は認められなかった。
- また、プレキャスト構造部において変状の発生が多いことが確認された。



【凡例】

- : 現場打ち構造部
- : プレキャスト構造部

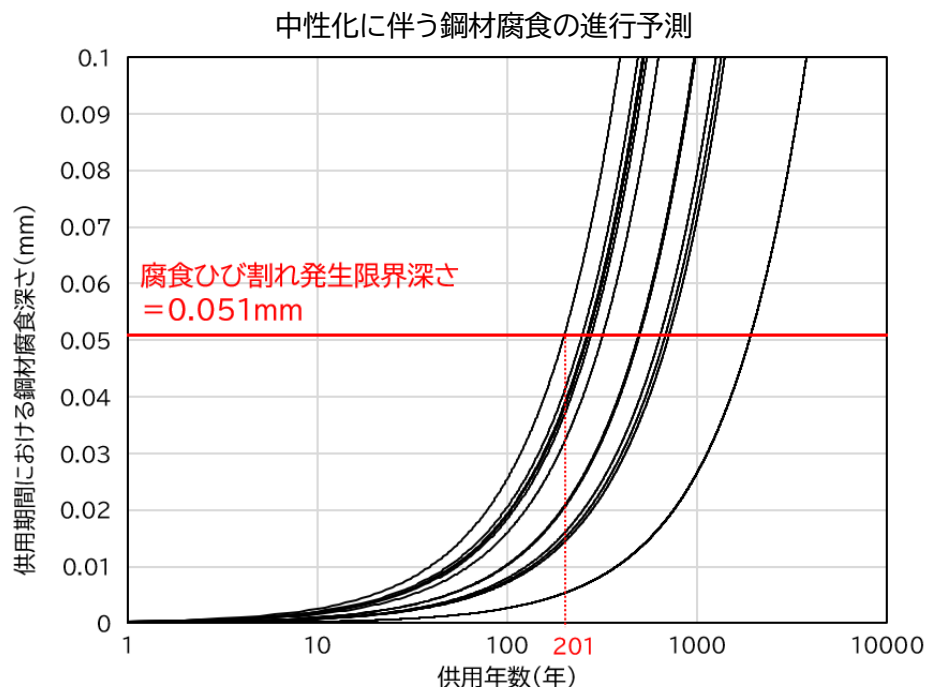
劣化の進行予測

■ 劣化の進行予測(中性化・塩害)

- 室内試験結果を用いて、中性化・塩害による劣化の進行予測を行った。
- その結果、中性化に起因する鉄筋の腐食ひび割れが発生するまでの最短期間は約201年、また、塩害に起因する鉄筋の腐食が開始するまでの最短期間は約1,331年と推定された。
- いずれの場合も、残存耐用年数は100年以上と見込まれることから、従来通りの点検・補修を継続することで、長期間にわたる供用が可能であると考えられる。

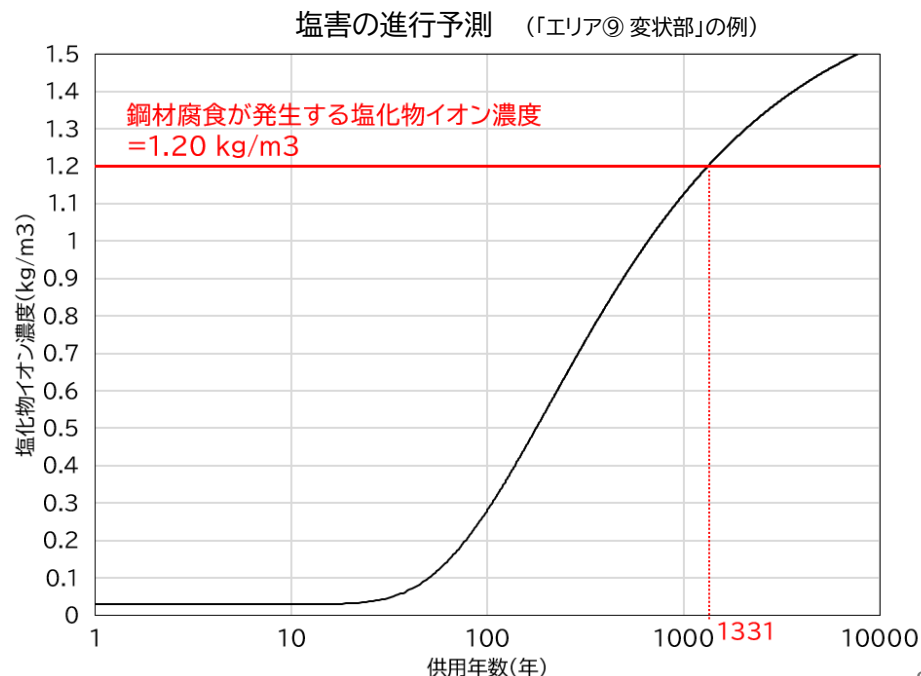
中性化の進行予測

- 劣化調査により得られた中性化深さから中性化速度係数を算定し、鋼材腐食深さの予測式に基づき、供用年数と鋼材腐食深さの関係を整理した。
- また、鉄筋径とかぶり厚さを踏まえ、腐食ひび割れ発生時の腐食深さを算定し、残存耐用年数を推定した。



塩害の進行予測

- 室内試験により得られたコンクリート中の塩化物イオン濃度から見掛けの拡散係数を算定し、塩化物イオン量の予測式に基づき、供用年数と塩化物イオン濃度の関係を整理した。
- その上で、鉄筋位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界値に達する時期を腐食開始時期と定義し、残存耐用年数を推定した。



(2)不同沈下対策に関する検討結果

不同沈下対策の検討方針

現状

- 共同溝の累積沈下量は最大で約150cm、過去10年間の沈下量は最大約15cm程度であり、年々収束傾向がみられるものの、未だに年間数mm～1cm程度の沈下が継続している。
- 特に、建物等の杭基礎構造物との接続部において沈下差が大きく、継手の破損及び漏水が発生していた例もあるため、効果的な不同沈下対策の実施が必要となる。
- 過去の対策事例として、可とう継手の新設及び再破損防止のための地盤改良による沈下抑制対策が講じられている。
- 可とう継手の新設工事について、共同溝内の収容物の移設が不可能な箇所では開削による躯体外側からの施工が実施されている。

検討上の課題

【不同沈下対策の必要範囲】

- 限界沈下量の設定方法

【不同沈下対策の工法】

- 躯体内側から対策を行う場合、共同溝内の収容物が密集する箇所では、施工スペースの確保が困難となる。
- 基本施設直下等の開削が不可能なエリアでは、躯体外側からの補修が適用できない。
- 地盤改良による沈下抑制対策を講じた場合、隣接する未改良部との沈下差が大きくなることが懸念される。

検討手順

(1) 不同沈下対策必要箇所の特定

- ① 既存資料(動態観測結果、継手の仕様、収容物の許容変位量等)及び現地調査結果の整理
 - ② 双曲線法による最終沈下量の算定
 - ③ 現況の沈下量及び最終沈下量と許容変位量の比較による、対策必要箇所の抽出
 - ④ 想定される被害の予測と、不同沈下対策の必要範囲の設定
- 本資料にてご説明

(2) 不同沈下対策工法の検討

- ① 設定した不同沈下対策必要範囲の現況を踏まえた、対策実施における課題の整理
- ② 羽田空港の共同溝における適用可能性の評価

(3) 強靱化方針の検討

上記検討を踏まえた不同沈下対策の実施に向けた方針の策定

→資料2にてご説明

不同沈下対策の必要範囲の検討 - 継手の許容変位量

■ 継手の仕様及び許容変位量の整理

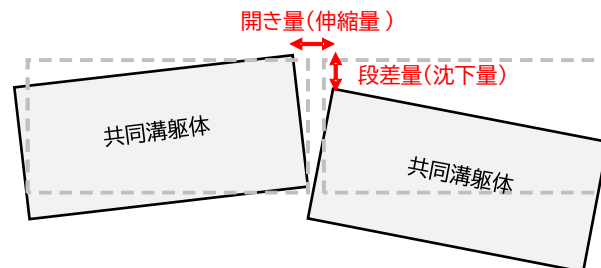
- 共同溝の仕様及び許容変位量について、建設時の工事図面から整理した。
- 共同溝の継手には、「可とう継手」、「カラー継手+スリップバー」、「スリップバー」が使用されている。

共同溝に用いられている継手の仕様

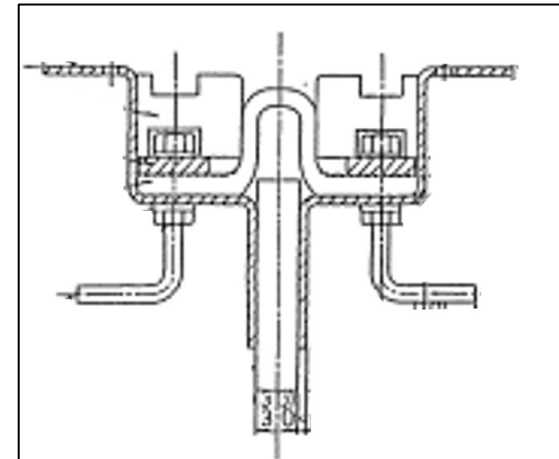
継手タイプ	許容変位量(mm)	
	開き量(伸縮量)	段差量(沈下量)
可とう継手	100	200
可とう継手	80	100
カラー継手+スリップバー	60※	100※
カラー継手+スリップバー	7※	7※
スリップバー	60※	100※

※：止水機能に対する許容変位量

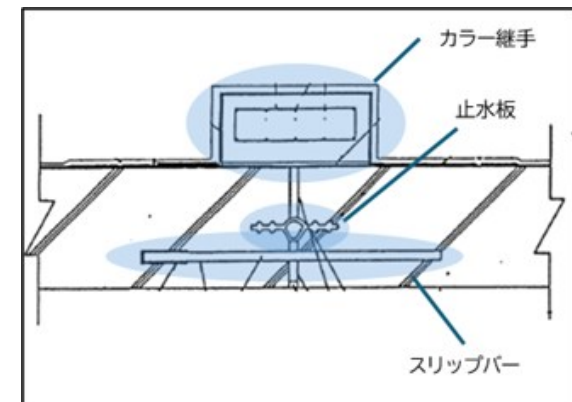
【開き量・段差量のイメージ】



【可とう継手】



【カラー継手+スリップバー】



不同沈下対策の必要範囲の検討

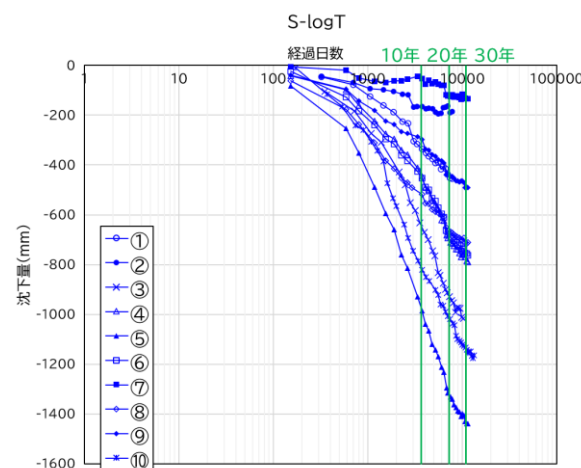
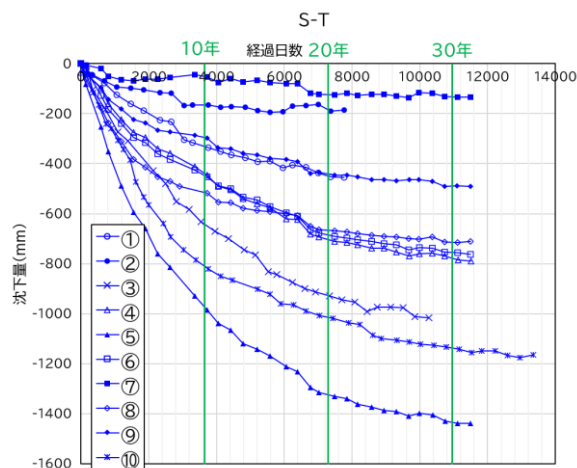
■ 既往動態観測結果の整理(躯体の沈下量(現況))

- 既往の動態観測結果によると、共同溝躯体の現況の沈下量は、0～160cmと幅広く分布しているが、概ね20～80cmが支配的である。
- また、共同溝躯体の現況の沈下量と、共同溝近傍における地盤の圧密沈下量の調査結果を比較すると、概ね類似した傾向を示している。このことから、共同溝躯体は、地盤の沈下に追従しているものと考えられる。

■ 既往動態観測結果の整理(躯体の最終沈下量)

- 既往の動態観測結果を用い、双曲線法により躯体の最終沈下量を算出した結果、概ね60～180cmと推定された。
- また、代表地点における沈下量と経過日数の関係を示したS-Tグラフから、沈下量は時間とともに徐々に小さくなる傾向が確認された。
- さらに、S-logTグラフでは下に凸となる傾向が見られ、羽田空港における圧密層厚が大きいことを考慮すると、二次圧密が卓越している可能性がある。

代表地点における沈下量と経過日数の関係 (S-T、S-logTグラフ)



(3)耐震化に関する検討結果

耐震化の検討方針

現状

- 現行基準に基づくレベル1、レベル2地震動に対し、既往調査において耐震性能照査した共同溝の大半の施設において構造耐力の不足(曲げ、せん断)及び継手の許容変位量超過が確認された。
- 既往照査において耐震補強工法の概略検討が実施されており、共同溝内側からの対策として「せん断補強鉄筋挿入工法」及び「増厚工法」が提案されている。
- また、躯体外側からの対策として「高圧噴射攪拌工法」による地盤改良を実施することで、躯体に作用する応力が減少し構造対策が不要となる可能性についても示されている。

検討上の課題

【耐震化の解析】

- 解析手法・条件の設定
- 解析範囲・位置の選定の考え方

【耐震化の工法】

- 躯体内側から対策を行う場合、共同溝内の収容物が密集する箇所では、施工スペースの確保が困難となる。
- 躯体外側から対策を行う場合、対策費用が膨大となる上、地上施設や空港運用への影響が懸念される。

検討手順

(1) 解析条件の整理

- ① 解析手法、解析位置の設定
- ② 解析パラメータの設定
- ③ 基盤入力波形の設定
- ④ 要求性能・設計限界値の設定

(2) 液状化判定及び耐震性能照査

- ① 液状化判定及び浮上りの照査
- ② 縦断方向解析
- ③ 横断方向解析

(3) 対策範囲の検討

対策必要箇所の抽出

→本資料にてご説明

(4) 耐震化工法の検討

- ① 対策必要範囲を踏まえた、対策実施における課題の整理
- ② 羽田空港の共同溝における適用可能性の評価

(5) 強靱化方針の検討

上記検討を踏まえた耐震化の実施に向けた方針の策定

→資料2にてご説明

耐震性能照査における主な解析条件

■ 耐震性能照査の解析条件・手法の選定の考え方

- 耐震性能照査の解析条件は、既往耐震性能照査結果と比較することを目的に、既往照査と同様の手法とすることを基本としつつ、既往照査では対象外であった範囲を対象とし、さらに、液状化による構造物への影響を考慮可能な手法とした。

(赤字:既往照査からの変更点)

解析範囲		■ 既往照査では対象外であった「空港基本施設直下以外の範囲」を対象とする
解析条件	構造諸元	■ 躯体諸元・継手構造 : 既往設計、工事資料等から設定
	地盤条件	■ 土層断面 : 近傍のボーリングデータに基づき設定 ■ 地盤定数等 : 近傍の土質調査結果に基づき設定 (エリア毎の土質試験結果等の平均値を設定 等)
	入力地震動	■ 入力地震動 : レベル2地震動 ※既往照査の傾向から、被害想定が大きくなるレベル2地震動に着目した解析を実施する
解析メニュー 及び手法	■ 液状化判定 : 港湾基準の「粒度とN値による方法」に準拠 (東京国際空港における判定ルールに準拠)	
	■ 浮上りの検討 : トンネル標準示方書に示される手法に準拠	
	■ 縦断方向解析 : <加振時の評価> 2次元地震応答解析(FLIPによる有効応力解析) & ばね質点モデルによる構造解析 <水圧消散後の評価> ※加振後の過剰間隙水圧消散後の最終的な沈下に対する評価 過剰間隙水圧消散に伴う沈下解析(2次元FLIP+FLIPDIS) & ばね質点モデルによる構造解析	
■ 横断方向解析 : 1次元地震応答解析(FLIP)による応答変位法を用いた断面力の照査		※液状化を考慮した有効応力解析を実施する ※今回は共同溝全体の耐震性能の傾向を概略的に把握することを目的とし、今後の詳細検討で 2次元FLIP等による詳細な耐震性能照査を行い対策範囲を精査することを想定している

→次ページ以降で各結果を整理

液状化判定結果・浮上りの検討結果

■ 液状化判定結果

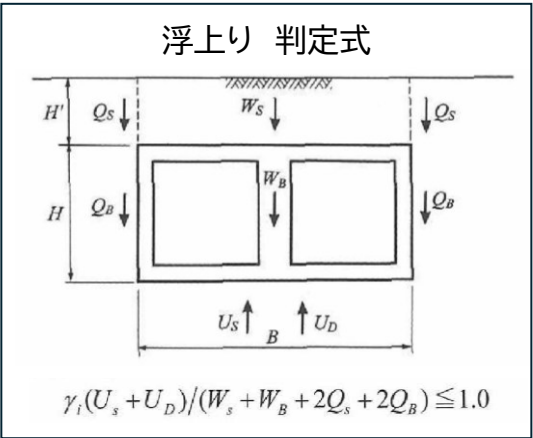
- 液状化判定の結果、エリア③を除く全ての地点で「地盤全体として液状化する」と判定された。
- また、「羽田直下Mw7.3」と「関東地震SPGA」の結果を比較すると、いずれも液状化が発生すると判定されるものの、各層の判定結果に着目すると、「関東地震SPGA」の方がより顕著に液状化する傾向が確認された。

エリア名	羽田直下Mw7.3	関東地震SPGA	備考
①	－	液状化する	
②	－	液状化する	
③	－	液状化しない	
④	液状化する	液状化する	関東地震SPGAのほうが液状化の程度が大きい
⑤	－	液状化する	

※ボーリング及び土質試験の情報が最も豊富なエリア④において比較解析を実施した。

■ 浮上りの検討結果

- 液状化判定結果に基づく浮上り検討の結果、「エリア③ E-10(※液状化しないエリア)」を除き、全ての地点で浮上りが発生する結果となった。以上より、液状化に伴う浮上りは、広範囲で発生する可能性が高いことが確認された。



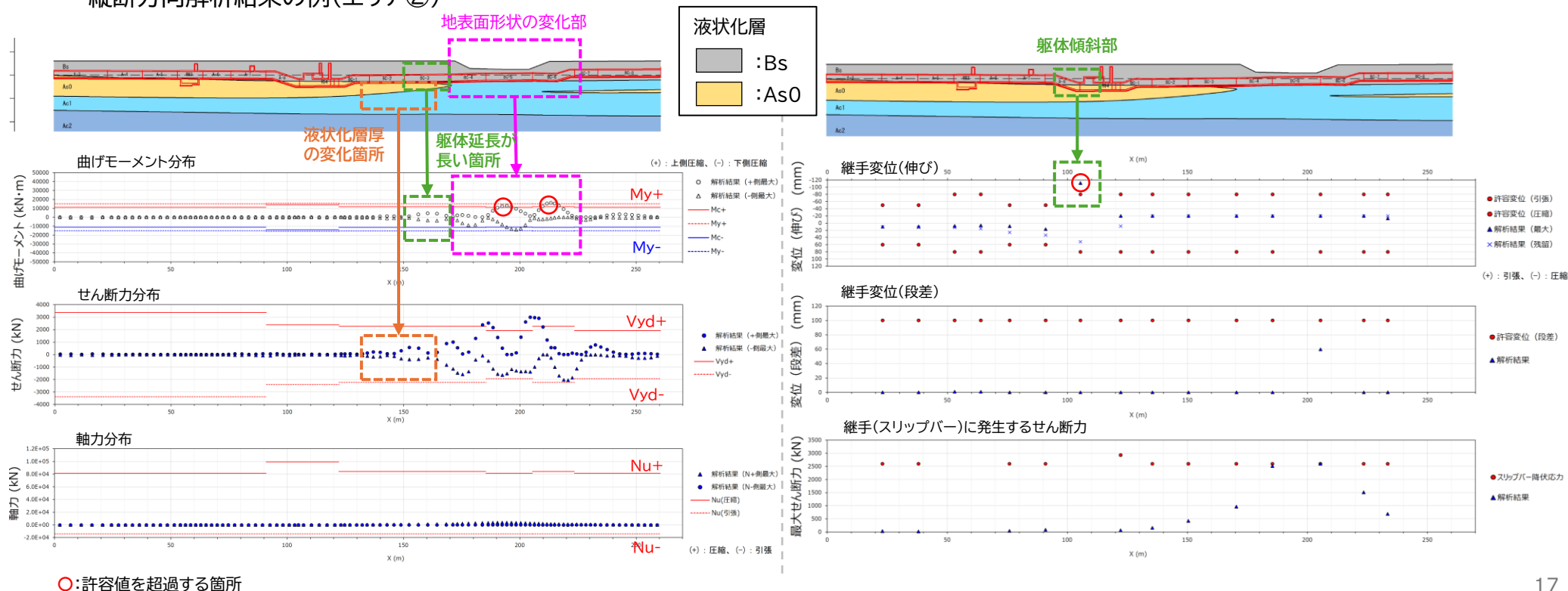
エリア名	地点名	浮上りに対する 安定性照査	判定
①	16-3	1.275(>1.0)	NG
	9	1.218(>1.0)	NG
	A-16	1.159(>1.0)	NG
②	A-3	1.330(>1.0)	NG
	E-3	1.367(>1.0)	NG
③	E-10	0.622(≤1.0)	OK
④	C-5	1.398(>1.0)	NG
	T11-1	1.278(>1.0)	NG
⑤	10	1.194(>1.0)	NG

耐震性能照査 - 縦断方向解析結果 (加振時の評価)

■ 縦断方向解析結果の傾向(加振時の評価)

- 躯体形状等に起因する特徴として、躯体延長が長い箇所での断面力の増加や、躯体傾斜部(階段等)における継手変位の増大が発生しており、既往照査と同様の傾向が確認された。このうち、断面力の超過は確認されなかったものの、一部の箇所で継手変位(伸び)が許容値を超過する結果となった。
- また、土層条件に起因する特徴として、液状化層と非液状化層の境界における層厚変化部付近においても、断面力及び継手変位の増大が確認された。ただし、断面力の許容値超過は確認されなかった。
- さらに、地表面形状の変化部において生じるせん断変形の影響により、直下の共同溝で断面力が許容値を超過することが確認された。
- 以上より、縦断方向においては、躯体形状および地盤条件の変化が断面力および継手挙動に大きく影響することが確認された。
- なお、今後の詳細検討にあたっては、軸方向および軸直交方向の地震時の振動特性等についても比較検証した上で、適切な検討手法を選定することが重要となる。

縦断方向解析結果の例(エリア②)

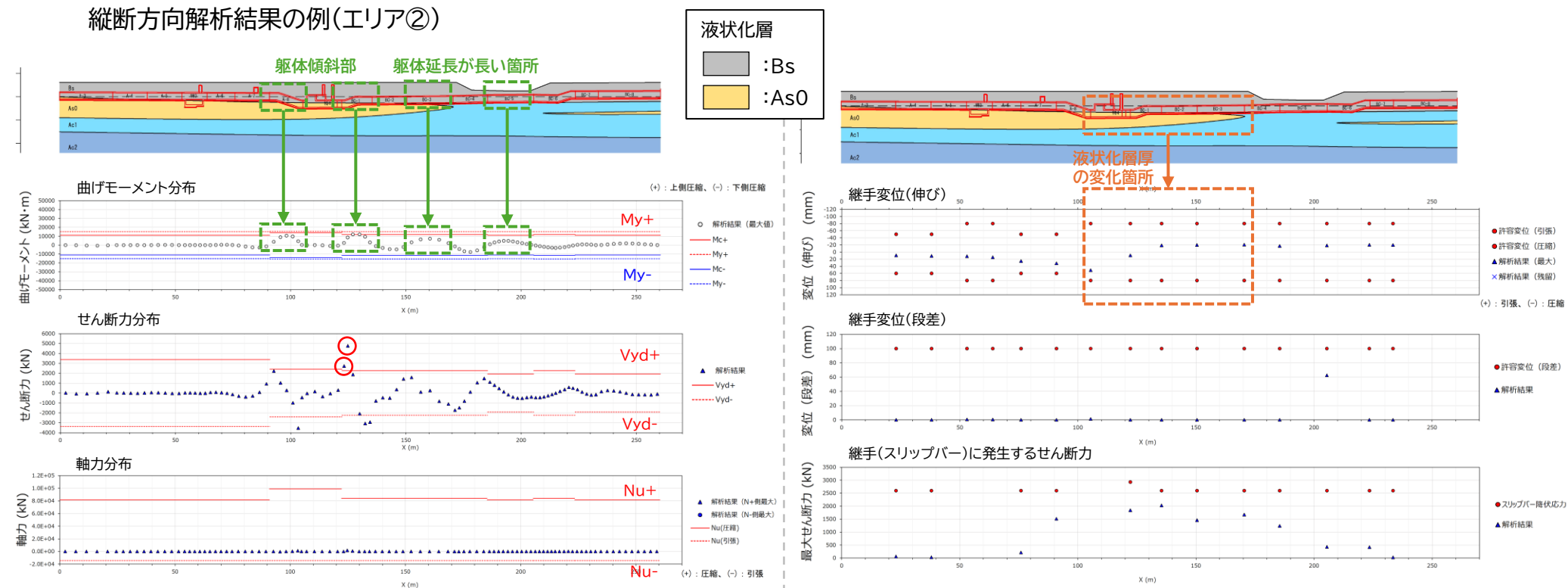


耐震性能照査 - 縦断方向解析結果（水圧消散後の評価）

■ 縦断方向解析結果の整理（水圧消散後の評価）

- 過剰間隙水圧の消散に伴い躯体に発生する断面力は、躯体延長が長い箇所や傾斜部（階段等）において増加する傾向が確認され、一部で許容値の超過が確認された。
- また、継手の変位については、液状化層の層厚変化が大きい箇所ほど、過剰間隙水圧の消散後の残留沈下が大きくなる傾向が確認されたが、過剰間隙水圧の消散過程において、新たに許容変位量を超過する箇所は確認されなかった。
- 以上より、縦断方向においては、躯体形状および地盤条件の変化が断面力および継手挙動に大きく影響することが確認された。
- なお、今後の詳細検討にあたっては、軸方向および軸直交方向の地震時の振動特性等についても比較検証した上で、適切な検討手法を選定することが重要となる。

縦断方向解析結果の例（エリア②）



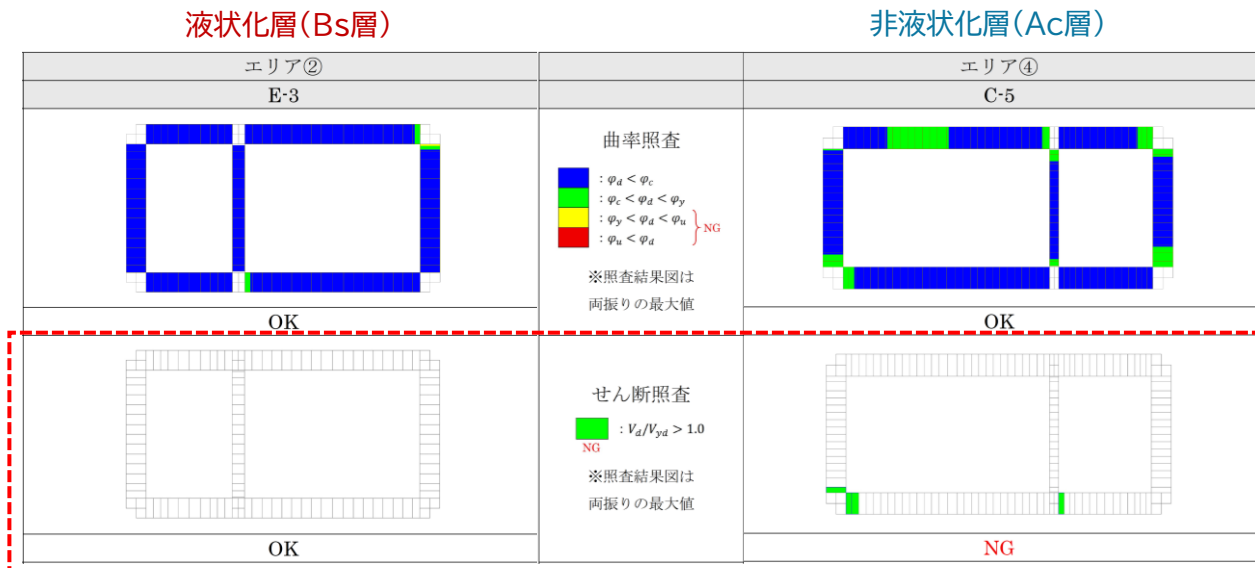
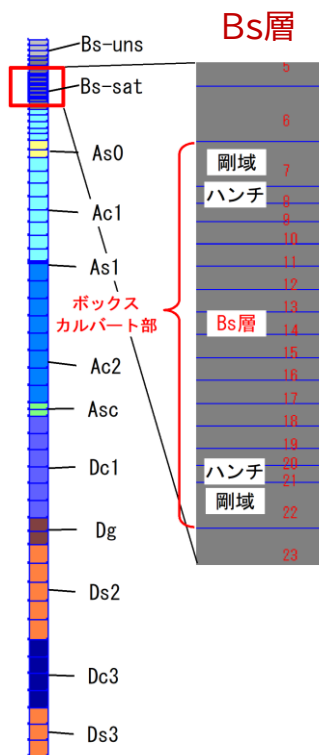
耐震性能照査 - 横断方向解析結果

■ 横断方向解析結果の整理

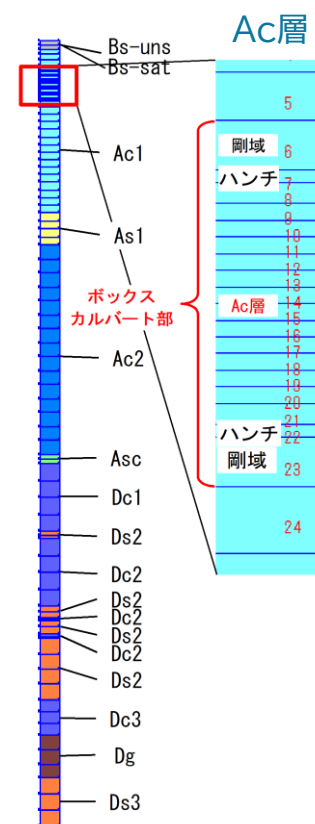
- 液状化を考慮した横断方向解析の結果、共同溝が非液状化層(Ac層)に位置する断面(例:エリア④C-5)では、せん断照査において、部材端部付近で照査基準を満足しない結果となった。
- 一方、液状化層(Bs層)に位置する断面(例:エリア②E-3)では、曲げ・せん断ともに照査基準を満足する結果となった。これは、既往照査の考え方に合わせて、地盤ばねの設定にあたり液状化に伴う地盤の剛性低下を考慮したことが要因と想定される。
- また、既往照査(液状化未考慮)において、ほぼ全ての断面でせん断照査の照査基準を満足しなかった結果とは異なる傾向である。

横断方向解析結果の例(エリア②E-3、エリア④C-5)

モデル図(②E-3)



モデル図(④C-5)



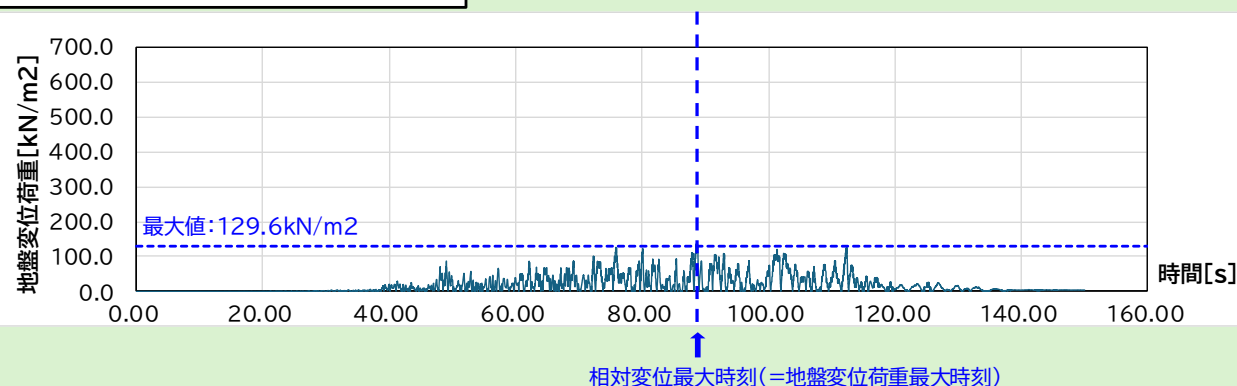
耐震性能照査 - 解析結果の検証（地盤変位荷重の時刻歴の比較）

■ 地盤変位荷重の時刻歴の比較

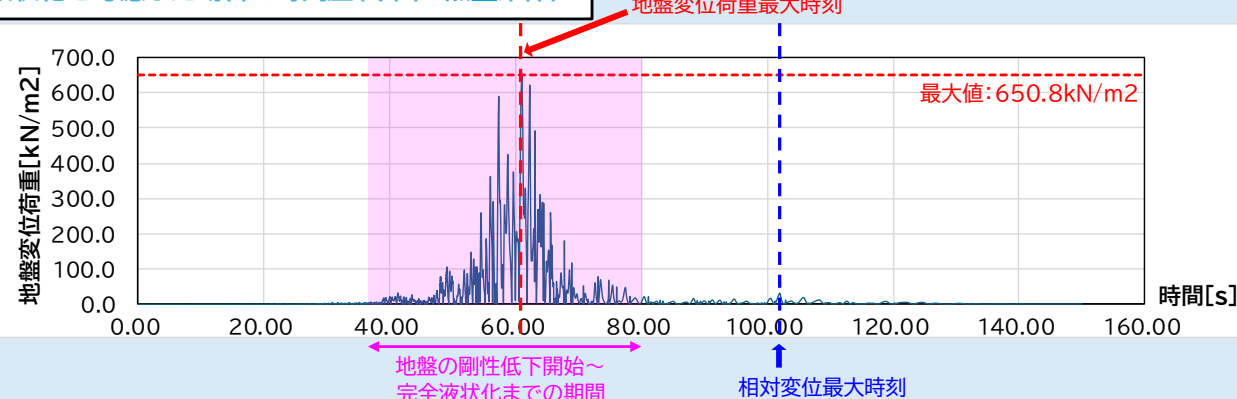
- 今回照査と既往照査において結果の傾向が異なる理由を深掘りするため、液状化を考慮した場合(今回照査の条件)と、考慮しなかった場合(既往照査の条件)における地盤変位荷重の時刻歴を比較した。
- その結果、躯体の構造解析に用いる「頂版と底版の相対変位が最大となる時刻(相対変位最大時刻)」における地盤変位荷重は、液状化を考慮した場合の方が、考慮しなかった場合に比べて小さくなることが確認された。
- 一方で、液状化を考慮した場合は、「相対変位最大時刻」よりも、液状化の進行過程(地盤の剛性低下開始～完全液状化)において、より大きな地盤変位荷重が発生することが確認された。

BOX頂版要素における地盤変位荷重の時刻歴（エリア②E-3の例）

液状化を考慮しなかった場合の時刻歴



液状化を考慮した場合の時刻歴(今回の照査条件)



	地盤変位荷重 (抽出時刻)	
	相対変位最大時	地盤変位荷重最大時
液状化 未考慮	129.6kN/m ² (88.55s)	129.6kN/m ² (88.55s)
液状化 考慮	29.8kN/m ² (101.97s)	650.8kN/m ² (60.98s)

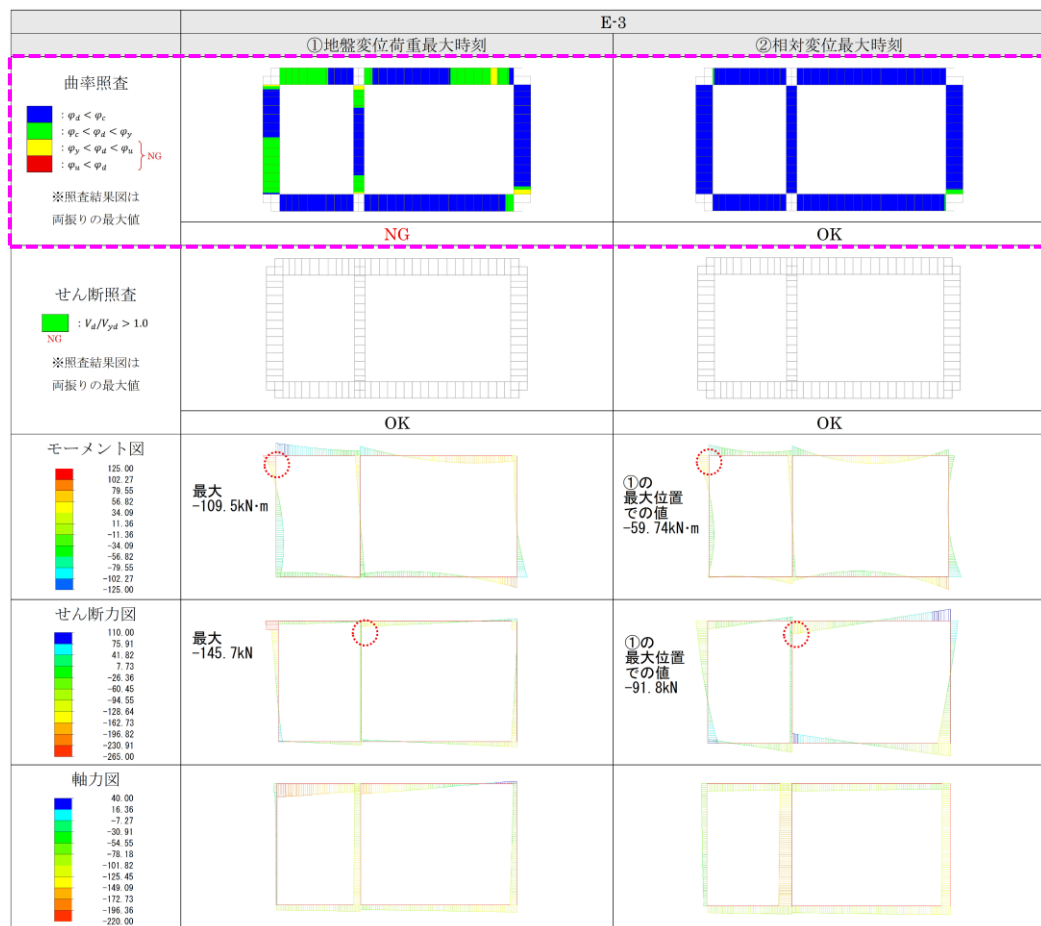
↑
今回照査の考え方
(既往照査に準拠)

耐震性能照査 - 時刻歴を考慮した横断解析結果の比較

■ 時刻歴を考慮した横断解析結果の比較

- 液状化を考慮した解析を行う場合、評価に用いる時刻によって、評価結果が異なる可能性があることが確認された。
- 「地盤変位荷重最大時刻」における地盤変位荷重を用いて改めて解析を行ったところ、「相対変位最大時刻」に比べ発生断面力が大きくなり、評価結果が変化した。
- 以上より、地盤の剛性低下を考慮した応答変位法においては、時刻歴を考慮した評価が重要となる。

応答値を抽出する時刻の違いによる横断方向解析結果の比較(例:エリア②E-3)



- 「地盤変位荷重最大時刻」では、「相対変位最大時刻」に比べて、曲げモーメントが増大し、特に部材端部付近で降伏モーメントを超過する。
- このことから、液状化考慮の有無や、応答値を抽出する時刻の違いにより、最大断面力の評価結果が変化する可能性が示唆される。



- 今後、耐震化の対策範囲等を詳細に検討する際には、**応答値の時刻歴や、液状化発生時の地盤剛性低下の取扱い等を精査した上で、適切な検討手法を選定することが重要となる。**

＜検討手法の例＞

- ・静的解析法（応答変位法）
 ※応答値の時刻歴や、地盤剛性低下等の取扱いに留意
- ・動的解析法（2次元FLIP等による連成解析）