

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0126
提出年月日	平成28年9月29日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

液状化影響の検討方針について
(指摘事項に対する回答)

平成28年9月

東京電力ホールディングス株式会社

指摘事項（7/12 審査会合）

- FLIP について、中越沖地震時の事例・記録等を用いて解析コードの不確実性を踏まえ、当該地への適用方針について説明すること。

回 答

構造物評価に用いる解析コードの選定にあたっては、2007 年新潟県中越沖地震における取水路の鉛直変位など構造物の被害状況の再現性を検証し、採用した解析コードの柏崎刈羽原子力発電所への適用性を確認する旨を、本編資料に記載した。

指摘事項（7/12 審査会合）

- 常設代替交流電源設備を含む重大事故等対処施設の地盤については、38 条で再度説明すること。

重大事故等対処施設のうち液状化影響評価の対象となる屋外施設として、常設代替交流電源設備基礎および格納容器圧力逃がし装置基礎を抽出し、本編資料に反映した。

指摘事項 (9/8 審査会合)

- 今回提案した浮き上がり評価の手法の他に、一般土木構造物の設計指針等の手法があるが、その他複数の手法を比較検討した上で最も信頼性・保守性のある手法を適切に採用すべきと考えるが、本手法を採用または適用できると考える理由について説明すること。
- 補機冷却用海水取水路はマンメイドロックや西山層の上に着底している構造物であり、単純なすべり面の形成ではないと考えられるため、こうした複雑な地盤への適用性及び別の損傷モードでの浮き上がりも検討し、浮き上がり防止対策も含めて説明すること。

回 答

中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて、評価方針を次ページ以降に示す。

構造物の浮き上がりに係る評価方針について

本資料では、中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて、評価の方針を示す。

地盤の液状化に伴う構造物の浮き上がりに対する主な簡易評価手法としては、浮き上がり計算法がある。

浮き上がり計算法は、液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した、力の釣り合いに基づく方法であり、共同溝設計指針（日本道路協会，1986）、トンネル標準示方書（土木学会，2006）及び鉄道構造物等設計標準・同解説（鉄道総合技術研究所，2012）に示されている。

浮き上がりに対する安全率 F_s の算定は、いずれも同じ評価方法が採用されていることから、共同溝設計指針に示される以下の式を用いて評価を実施する。

$$F_s = (W_s + W_B + Q_s + Q_B) / (U_s + U_D)$$

W_s ：上載土の荷重（水の重量を含む）

W_B ：構造物の自重

Q_s ：上載土のせん断抵抗

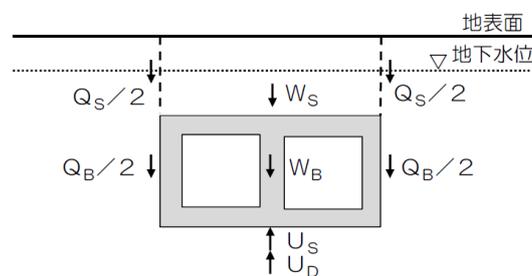
Q_B ：構造物側面の摩擦抵抗

U_s ：構造物底面に作用する静水圧による揚圧力

U_D ：構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

所要安全率は、最も保守的な設定としている共同溝設計指針を踏まえ、1.1とする。

また、評価の結果を踏まえ、必要に応じて構造物周辺の地盤改良などの浮き上がり防止対策を実施する。



第1図 構造物に作用する力

非液状化層におけるせん断抵抗 Q_S 及び摩擦抵抗 Q_B の算定について、共同溝設計指針は、均一な砂質土を想定し、せん断抵抗角 ϕ のみを用いた評価式を示している。柏崎刈羽地点の評価対象地盤は、砂質土に限らず粘性土や地盤改良層が分布しており、せん断抵抗角 ϕ と粘着力 c を用いた評価式が最も適していることから、以下の式を用いて評価を実施する。なお、この式は、トンネル標準示方書に示されている。

$$Q_S = (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H'$$

$$Q_B = (c + K_0 \cdot \sigma'_v \cdot \tan \phi) H$$

c : 粘着力

ϕ : せん断抵抗角

K_0 : 静止土圧定数

σ'_v : 有効上載圧

H' : 上載土の厚さ

H : 構造物の高さ

【参考文献】

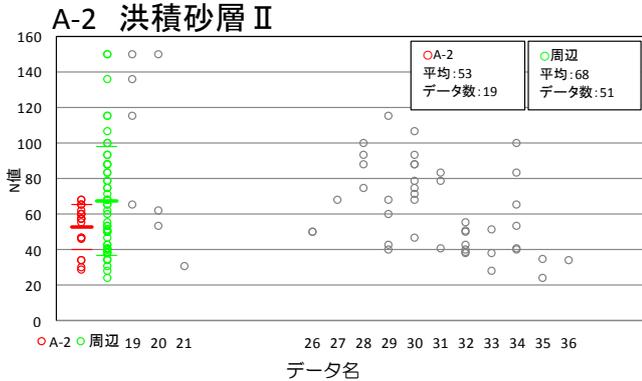
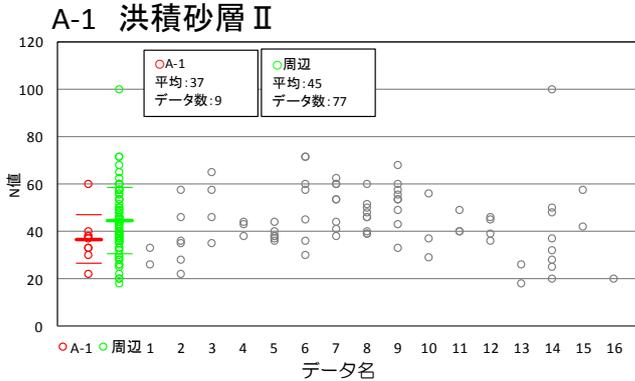
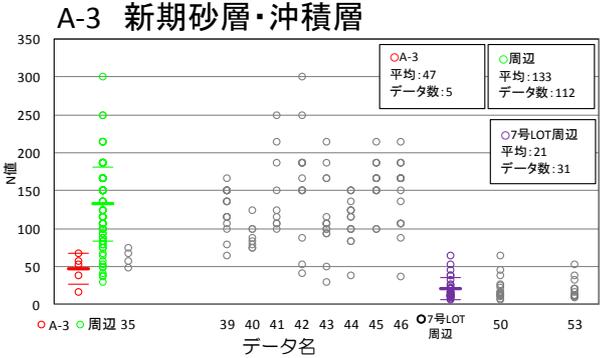
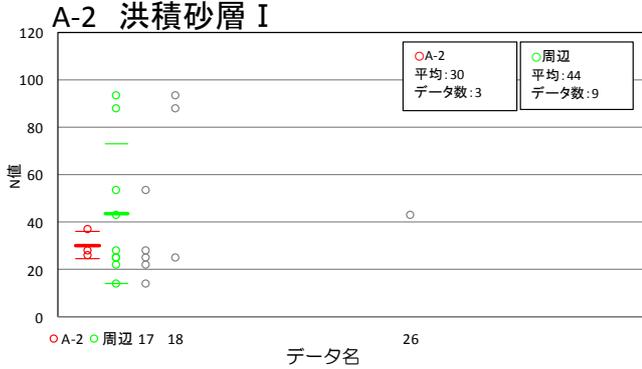
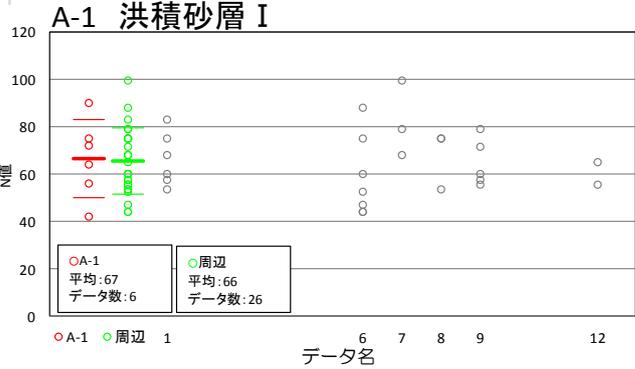
- ・ 日本道路協会：共同溝設計指針，1986.
- ・ 土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説，2006.
- ・ 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.

新期砂層・沖積層のN値について

指摘日	コメント
H28.9.8 審査会合	新期砂層・沖積層のN値が洪積砂層と比較して高い値となっている理由を記載し説明すること。



荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



新期砂層・沖積層のN値

洪積砂層のN値

新期砂層・沖積層のN値について

【荒浜側の新期砂層・沖積層と古安田層※中の砂層】

- 新期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。
- 古安田層は、敷地のほぼ全域にわたって分布し、主に粘土～シルトからなり、砂、砂礫等を挟在する。また、本層はMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の海進、海退に伴う堆積物を含み、中部更新統と判断される。

敷地の地質層序表

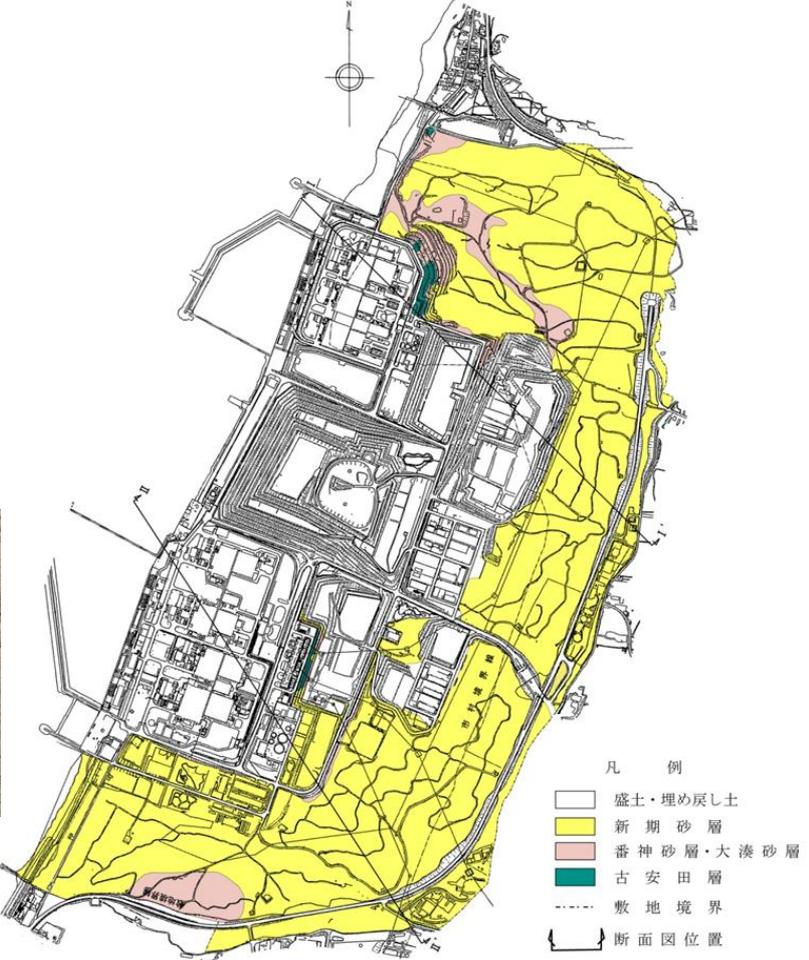
時代	地層名	主な層相・岩質	テフラ・放射年代		
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂、腐植物を含む	腐植 (6, 150 ± 170年)	
		後期	番神砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂	
		大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂、シルトの薄層を含む	← NG (約13万年前)	
	中期	A ₁ 部層	最上部は砂 粘土～シルト、砂を多く挟む	← Y-1 (約20万年前)	
		A ₂ 部層	粘土～シルト 繻状粘土、有機物、砂を伴う、貝化石を含む		
		A ₃ 部層	粘土～シルト 砂、厚い砂礫、有機物を挟む	← Ata-Th (約24万年前)	
		A ₄ 部層	粘土～シルト 砂、砂礫を挟む	← Kkt† (約33-34万年前)	
	前期	灰爪層	凝灰質泥岩、凝灰質砂岩、凝灰岩	← Iz (約1.5Ma)	
		西山層	N ₃ 部層	砂質泥岩 砂岩、凝灰岩、ノジュールを含む 貝化石を含む	
			N ₂ 部層	シルト質泥岩 繻状泥岩、凝灰岩、ノジュールを多く挟む	← Fup (約2.2Ma) ← Tsp (約2.3Ma) ← Az (約2.4Ma)
N ₁ 部層			シルト質～粘土質泥岩 砂岩、凝灰岩、ノジュールを含む 珪質海綿化石を含む	← Nt-17 (340 ± 20万年) ← Nt-7 (350 ± 20万年)	
第三紀	後期	椎谷層	砂岩、砂岩・泥岩互層、細礫岩等を挟む		
	前期	寺泊層	黒色泥岩、砂岩・泥岩互層		
	中新世				



2号造成北側法面 (新期砂層・沖積層)



1号海水機器建屋南側法面 (古安田層中の砂層)



敷地の地質図

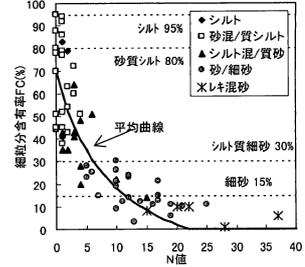
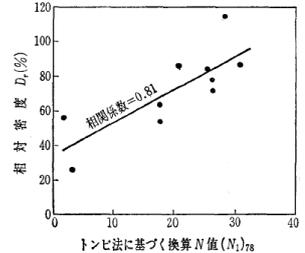


※安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

新期砂層・沖積層のN値について

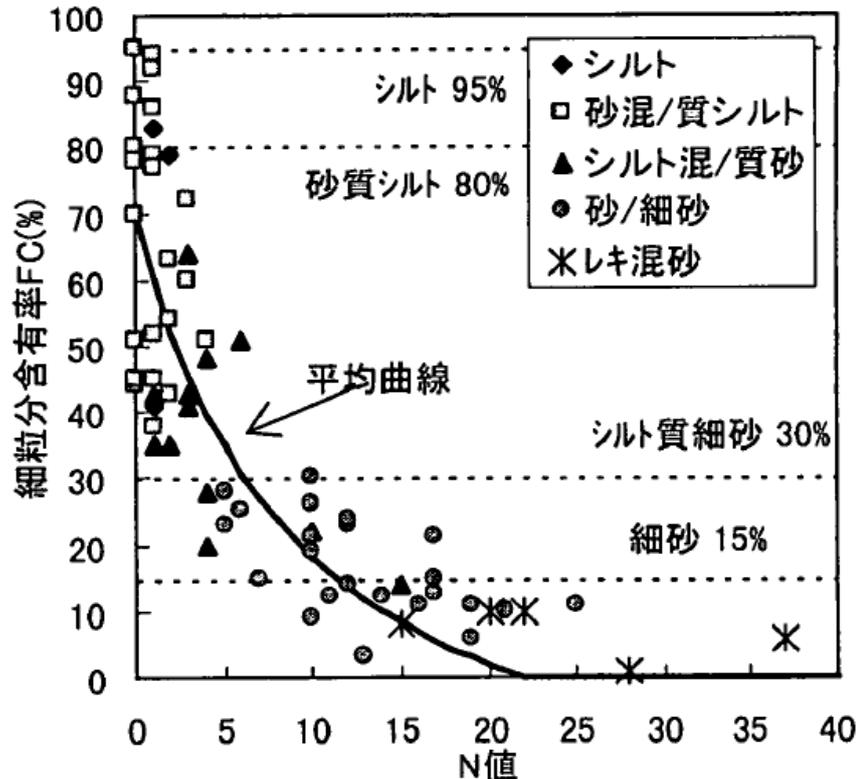
【検討概要】

- N値に影響のある物性として、細粒分含有率、相対密度、初期せん断弾性係数を抽出し、新期砂層・沖積層と洪積砂層のN値への影響について検討した。

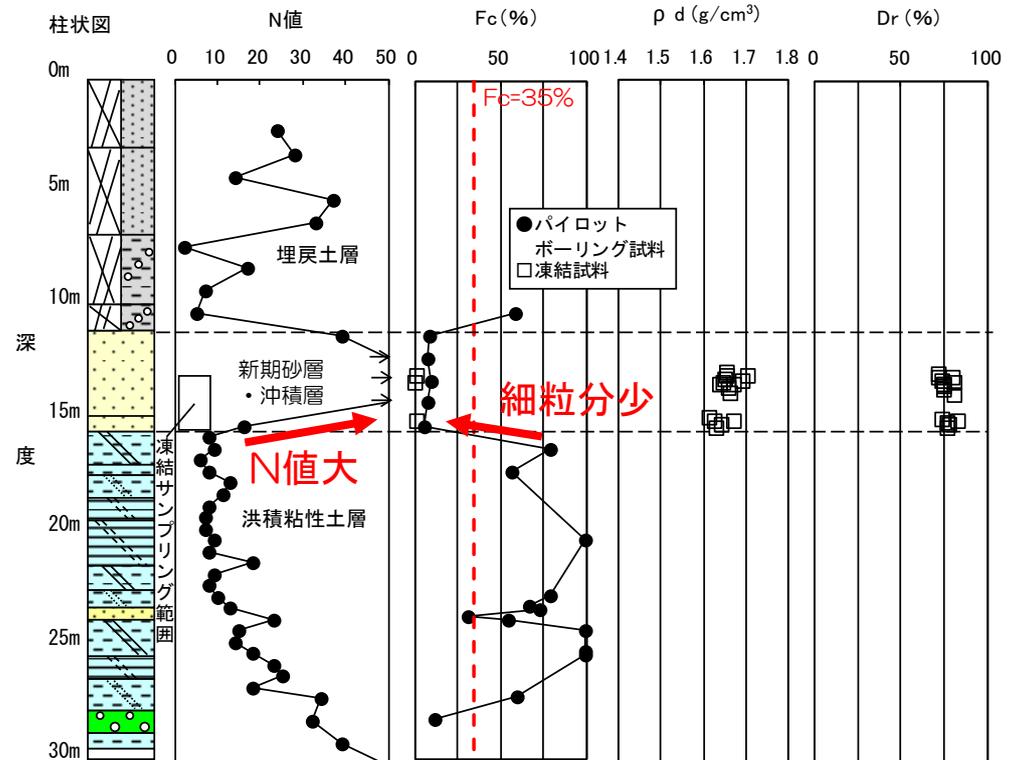
物性	N値との関係	基準・文献
細粒分含有率 (F_c)	細粒分が減少するほどN値が大きくなる傾向が認められる。  沖積層のN値と細粒分の関係	亀井祐聡、森本巖、安田進、清水善久、小金井健一、石田栄介（2002）：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報告集、Vol.42、No.4、101-110
相対密度 (D_r)	相対密度が増加するほどN値が大きくなる傾向が認められる。  N値と相対密度の関係	吉見吉昭: 砂の乱さない試料の液状化抵抗～N値～相対密度関係、土と基礎、Vol. 42, No. 4, pp. 63-67, 1994.
初期せん断弾性係数 (G_0) ($G_0 = \rho V_s^2$)	せん断弾性速度 (V_s) を右式によってN値から推定してもよいとしている。 (砂質土の場合) $V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$ $G_m = 144N^{0.88}$ V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性速度 N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均N値 N値とせん断弾性係数との間には、右式のような関係にあるとしている。 G_m : せん断弾性係数	道路橋示方書・同解説V 耐震設計編、日本道路協会、2012 Imai T.& Tonouchi K. (1982): Correlation of N Value with ESOP II S-wave Velocity and shear Modulus.

新期砂層・沖積層のN値について

【N値と細粒分の関係】



沖積層のN値と細粒分の関係（亀井ほか，2002※）



A-3地点における調査結果

- 亀井ほか（2002）※では，東京低地における沖積砂質土を対象に，細粒分とN値の関係を整理しており，これによると，細粒分が減少するほどN値が大きくなる傾向が認められる。
- 柏崎刈羽原子力発電所で実施したA-3地点における調査結果でも同様の傾向が認められる。

※亀井祐聡、森本巖、安田進、清水善久、小金井健一、石田栄介（2002）

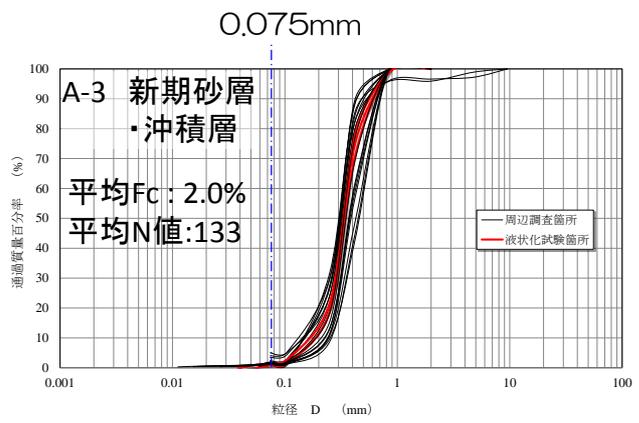
：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報告集、Vol.42、No.4、101-110

新期砂層・沖積層のN値について

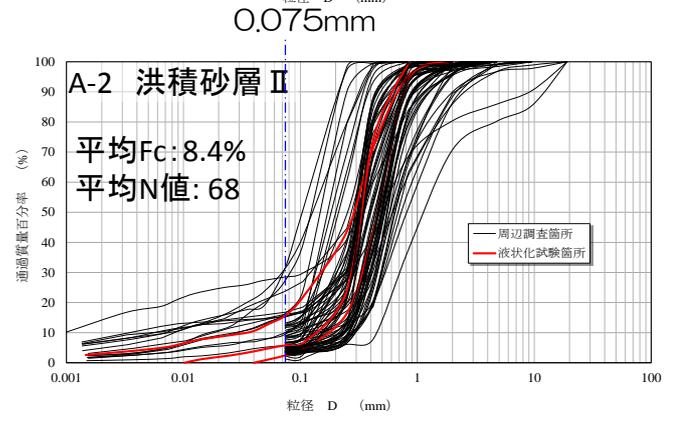
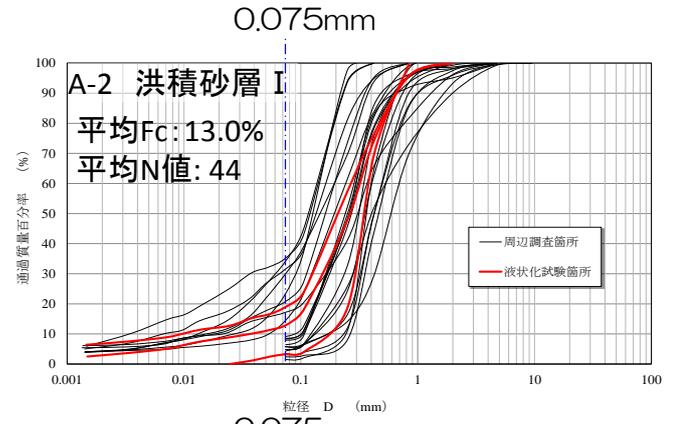
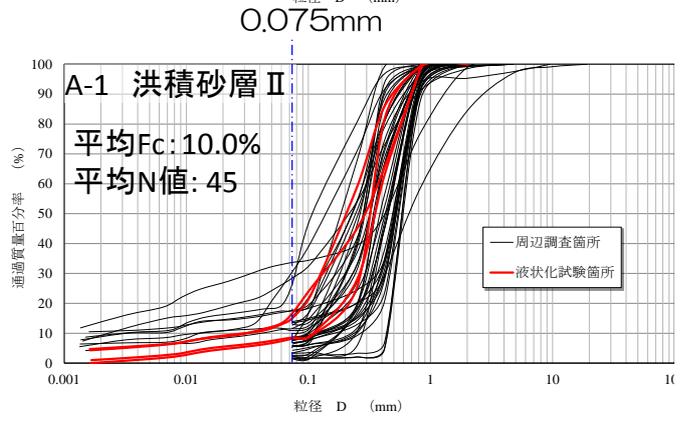
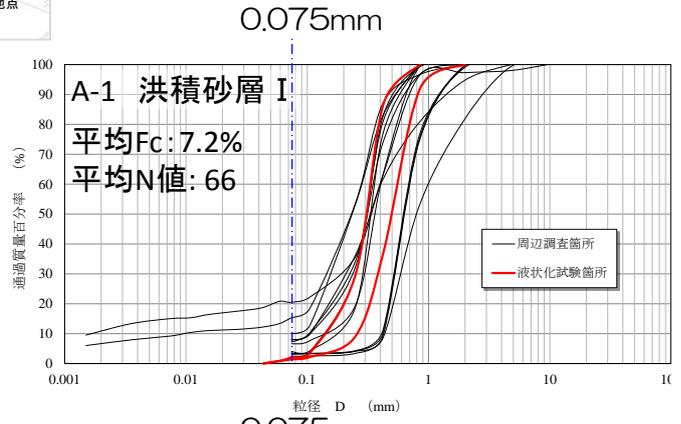
【N値と細粒分含有率（F_c）の関係】



荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



新期砂層・沖積層の粒径加積曲線



洪積砂層の粒径加積曲線

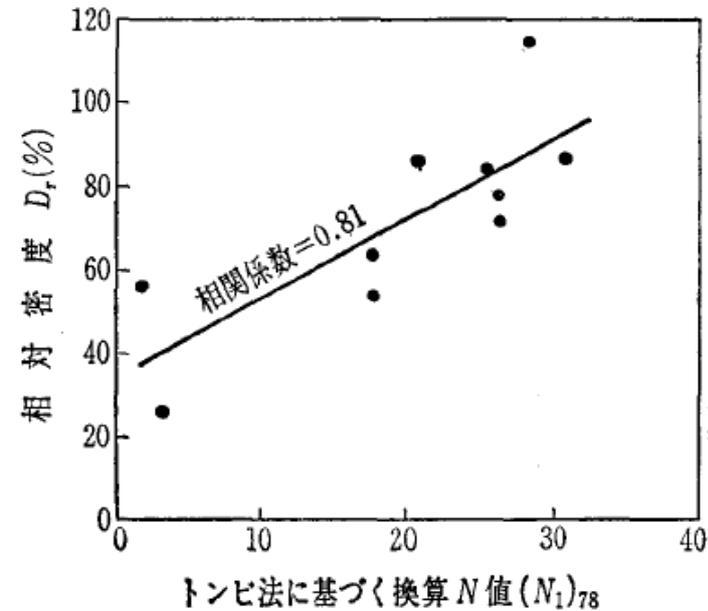
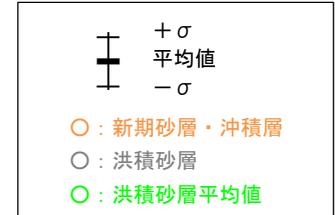
■ 新期砂層・沖積層には細粒分がほとんど含まれておらず、細粒分含有率は洪積砂層より小さいことから、粒度組成の違いがN値に影響していると考えられる。

新期砂層・沖積層のN値について

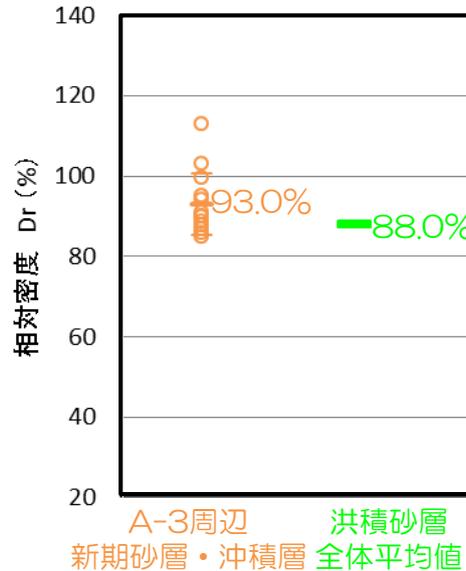
【N値と相対密度 (D_r) の関係】



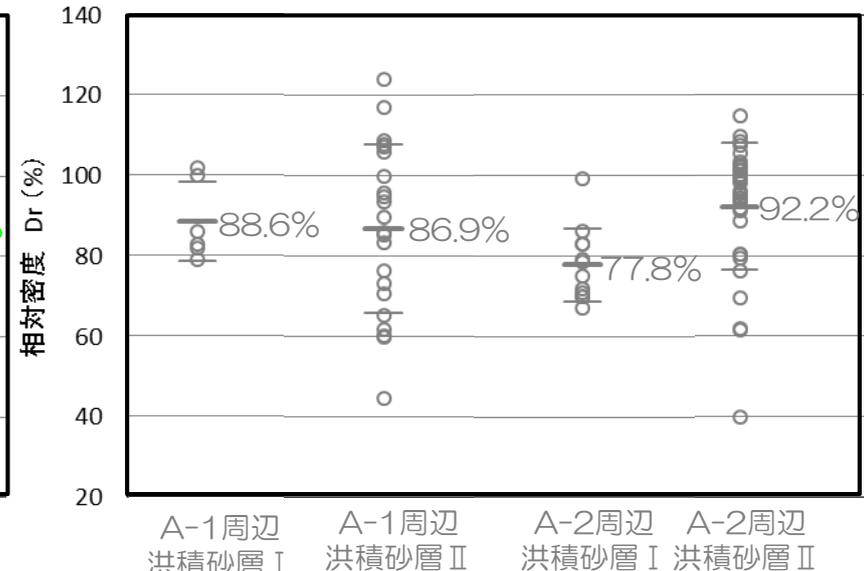
荒浜側 試料採取地点位置図 (A-1, 2, 3)



沖積層のN値と相対密度の関係 (吉見, 1994*)



A-3周辺 新期砂層・沖積層
洪積砂層 全体平均値
新期砂層・沖積層と
洪積砂層の相対密度



A-1周辺 洪積砂層 I
A-1周辺 洪積砂層 II
A-2周辺 洪積砂層 I
A-2周辺 洪積砂層 II
洪積砂層の相対密度

- 吉見 (1994) *では、相対密度とN値の関係を整理しており、これによると、相対密度が増加するほどN値が大きくなる傾向が認められる。
- 新期砂層・沖積層の相対密度は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、相対密度の違いがN値の違いに影響している可能性があると考えられる。

新期砂層・沖積層のN値について

【N値と初期せん断弾性係数（ G_0 ）の関係】

- 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編では、せん断弾性速度（ V_s ）を下式によってN値から推定してもよいとしている。（ $G_0 = \rho V_s^2$ ）

砂質土の場合

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

ここに、 V_{si} ：i番目の地層の平均せん断弾性速度

N_i ：標準貫入試験によるi番目の地層の平均N値

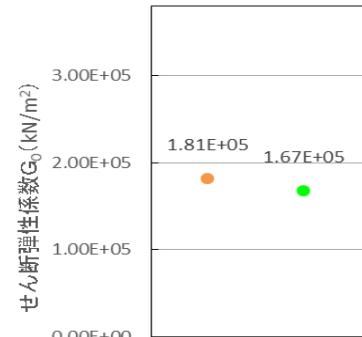
- Imai et al. (1982) ※によると、N値とせん断弾性係数との間には、下式のような関係にあるとしている。

$$G_m = 144N^{0.88}$$

ここに、 G_m ：せん断弾性係数

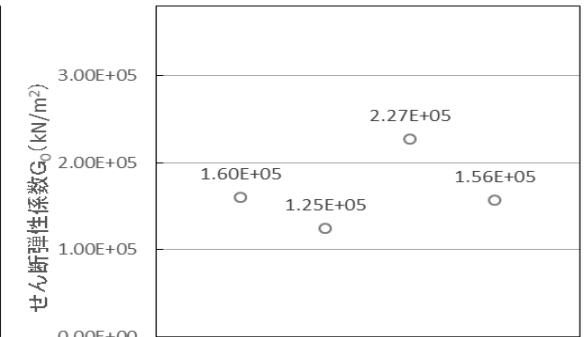


荒浜側 試料採取地点位置図（A-1，2，3）



A-3 新期砂層・沖積層 (平均)

新期砂層・沖積層と
洪積砂層の初期せん断弾性係数



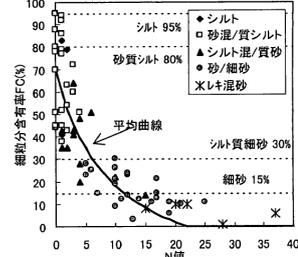
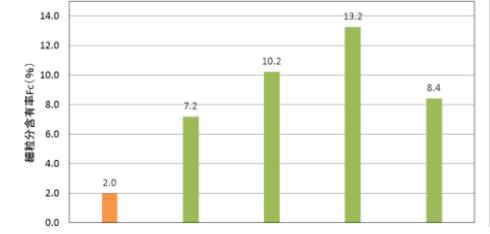
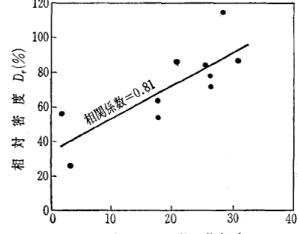
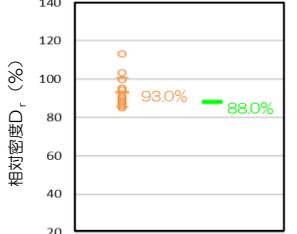
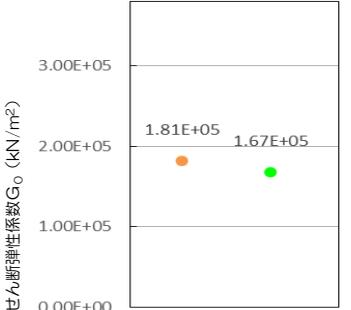
A-1 A-1 A-2 A-2
洪積砂層 I 洪積砂層 II 洪積砂層 I 洪積砂層 II

洪積砂層の初期せん断弾性係数

- 新期砂層・沖積層の初期せん断弾性係数は洪積砂層と比較してやや大きい傾向にあり、初期せん断弾性係数の違いがN値の違いに影響している可能性があると考えられる。

新期砂層・沖積層のN値について

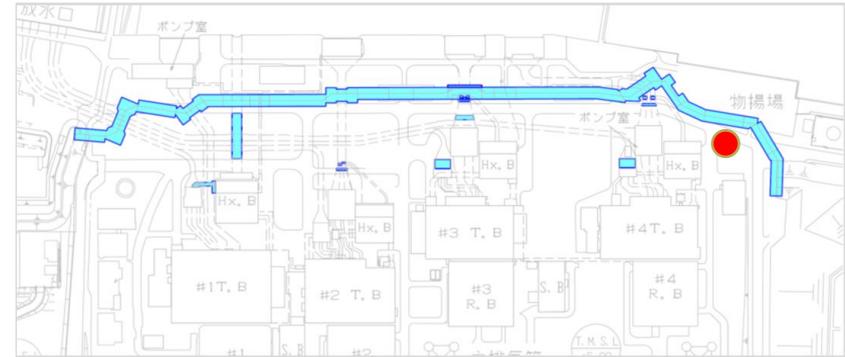
【まとめ】

物性	N値との関係	検討結果（物性の比較）	N値への影響
<p>細粒分含有率 (F_c)</p>	<p>細粒分が減少するほどN値が大きくなる傾向が認められる。</p>  <p>沖積層のN値と細粒分の関係</p>	 <p>A-3周辺 A-1周辺 A-1周辺 A-2周辺 A-2周辺 新期砂層・沖積層 洪積砂層 I 洪積砂層 II 洪積砂層 I 洪積砂層 II</p>	<p>○</p>
<p>相対密度 (D_r)</p>	<p>相対密度が増加するほどN値が大きくなる傾向が認められる。</p>  <p>N値と相対密度の関係</p>	 <p>A-3周辺 洪積砂層 新期砂層・沖積層 全体平均値</p>	<p>△</p>
<p>初期せん断弾性係数 (G₀) (G₀=ρVs²)</p>	<p>せん断弾性速度 (V_s) (砂質土の場合) を右式によってN値から推定してもよいとしている。 V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性速度 N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均N値</p> $V_{si} = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$ <p>G_m=144N^{0.88} G_m : せん断弾性係数</p>	 <p>A-3 洪積砂層 新期砂層・沖積層 (平均)</p>	<p>△</p>

■ N値に影響のある物性として、細粒分含有率、相対密度、初期せん断弾性係数を抽出し、検討した結果、新期砂層・沖積層と洪積砂層の各物性の関係は、N値の関係と整合しており、特に細粒分含有率の違いがN値の違いに影響していると考えられる。



F5-16孔における新期砂層・沖積層



F5-16孔ボーリング位置図

- 防潮堤付近で行ったボーリングによると、新期砂層・沖積層のボーリングコアは形状を維持して採取できているため、現世の砂丘砂と比較して続成作用が進んでいると考えられる。