

3 土質試験

当センターで行っている土質試験は、建設工事における施工管理及び土質材料としての品質管理を目的として現場や土取り場から搬入された試料で行っており、試験項目は物理的性質試験・化学的性質試験・力学的性質試験の3種類に大別でき、約30項目の試験を行っている。この報告書は、その中で特に受託の多かった「土の締固め試験」「CBR試験」「土の透水試験」「土のコーン貫入試験」「土の三軸圧縮試験」について、平成20年度の試験結果を統計・解析したものである。また、原位置試験の中から「基礎地盤の平板載荷試験結果」についてもあわせて付記した。

3・1 土の締固め試験

土の締固め試験（JIS A 1210）は、突固め方法の違いにより5種類の方法があるが、ここでは土木材料（盛土材）としての施工管理を目的とした標準的エネルギーである呼び名A・Bについて試験し398件の中から「自然含水比と最適含水比の関係」及び「最適含水比と最大乾燥密度の関係」についてまとめた。

図-1に、自然含水比と最適含水比の関係を示した。両者の相関性は非常に有意な相関を示し、回帰式を求めると次式が成り立つ。

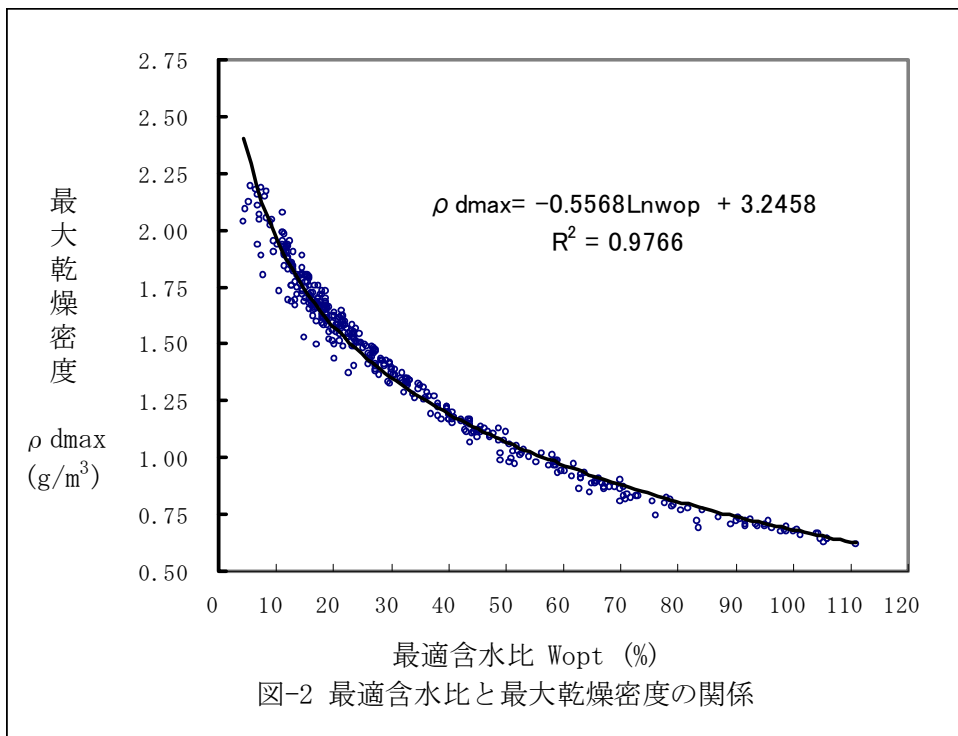
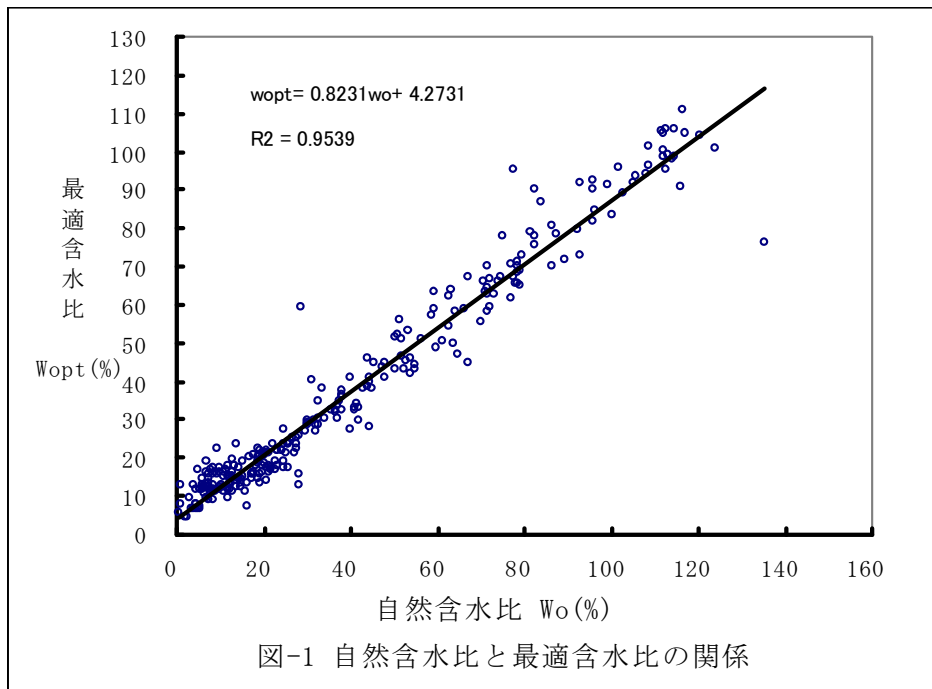
$$W_{opt}(\text{最適含水比}) = 0.8231 \times W_o(\text{自然含水比}) + 4.2731 \quad (R^2 = 0.9539)$$

自然含水比が20%以下の砂等の材料では $W_o < W_{opt}$ となり、高含水比である粘土や火山灰質粘性土では $W_o > W_{opt}$ となる傾向を示す。

図-2は、最適含水比と最大乾燥密度の関係を示した。両者の相関性は非常に有意な相関を示し、回帰式を求めると次式が成り立つ。

$$\rho_{dmax} = -0.5668 \times \log(W_{opt}) + 3.2458 \quad (R^2 = 0.9766)$$

最適含水比（ W_{opt} ）10～30%で、最大乾燥密度（ ρ_{dmax} ）1.3～1.9 g/cm³程度の砂及び細粒分まじり砂が材料として多く使われている。



3・2 CBR試験

路床土の支持力を求めるCBR試験は、このCBR値を基にして舗装の構造設計が行われる場合をとくに「設計CBR試験」と呼んでいる。また、CBR値3%未満の軟弱な路床においては、路床の構築が必要であり置換え（入替え）工法及び安定処理工法等がある。

茨城県土木工事事品質管理基準では、路床入替材（砂等）のCBR値が12%以上の材料を使用することを規定している。

平成20年度のCBR試験依頼件数はそのほとんどが設計CBR及び路床入替材であり、設計CBR試験1020件（19年度：802件）及び路床入替材の確認試験253件（19年度：326件）であった。ここでは、その2種類についてまとめた。

3・2・1 路床土の設計CBR試験

図－3に自然含水比の分布を、図－4にCBRの分布を、図－5に乾燥密度の分布を示し、図－6には、自然含水比とCBRの関係を示した。

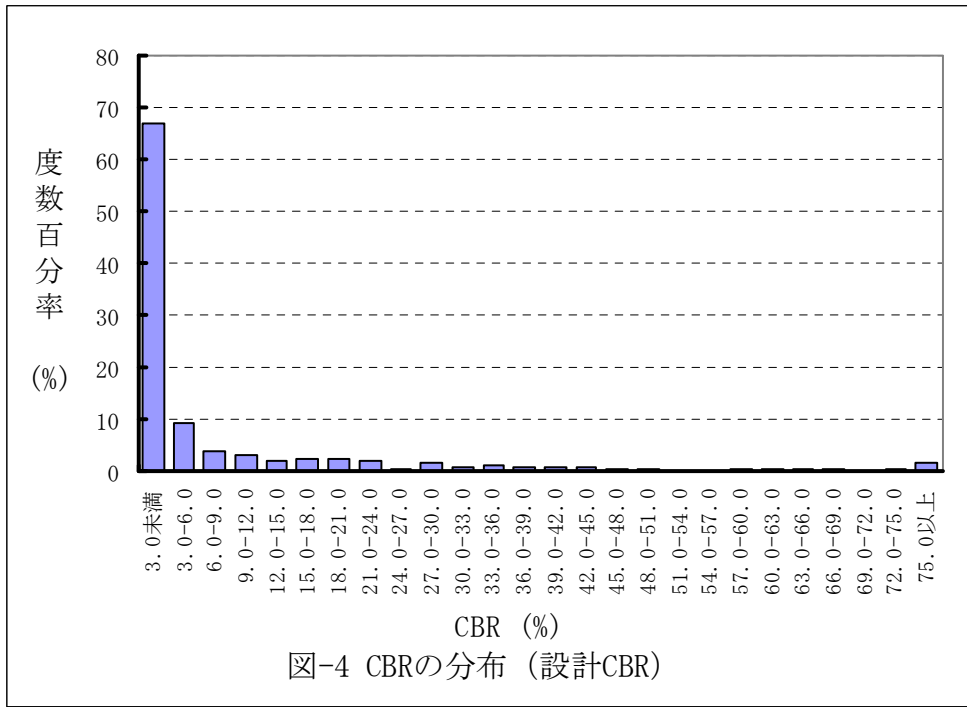
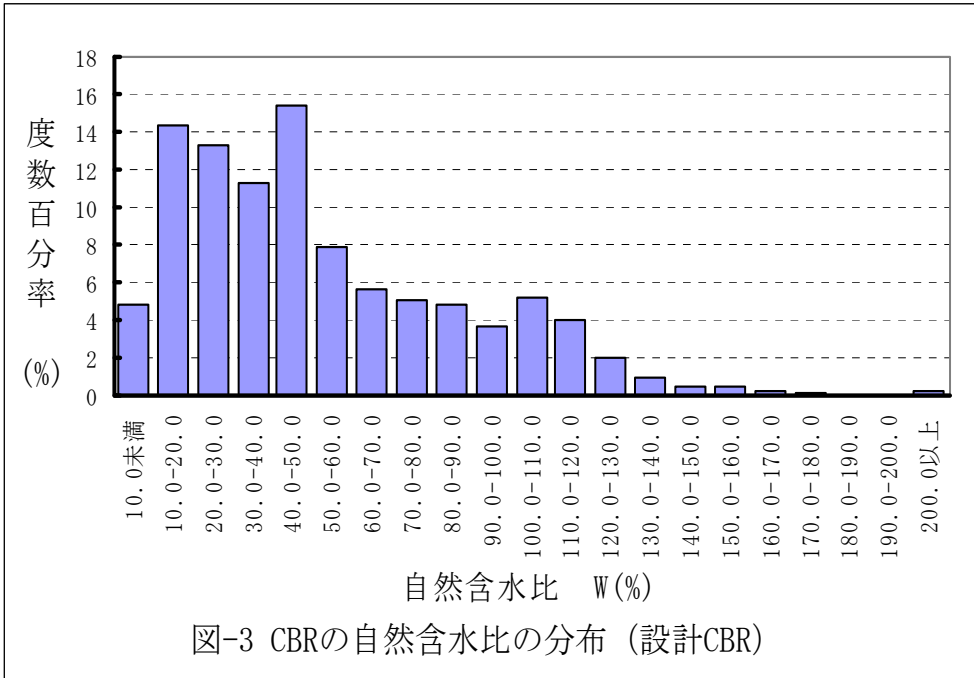
自然含水比の分布図より自然含水比は10～60%の材料が大半を占めている。またCBRの分布からCBR3%未満は70%を占め、軟弱な路床が多い。

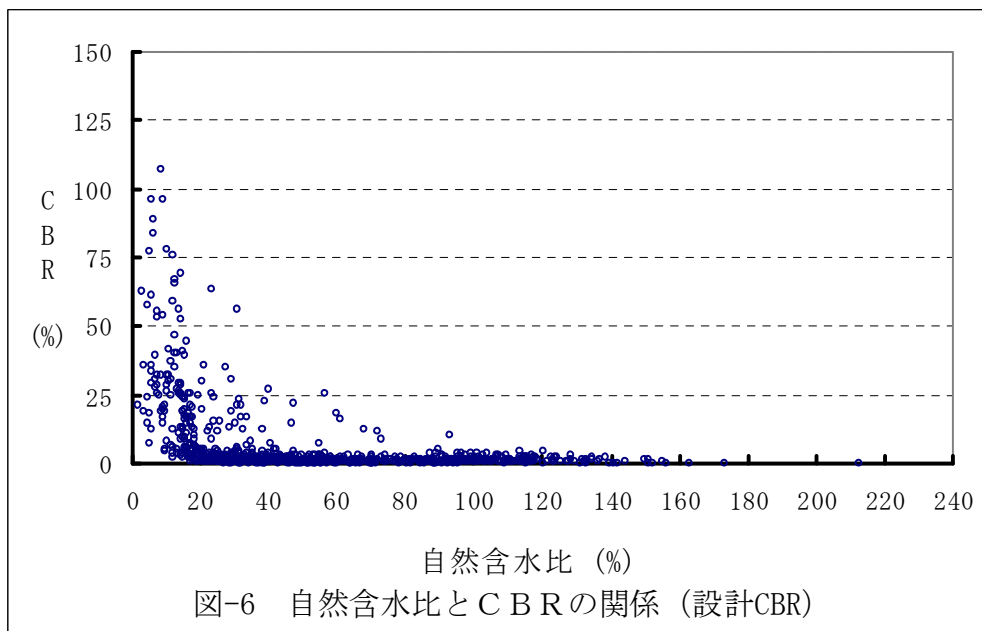
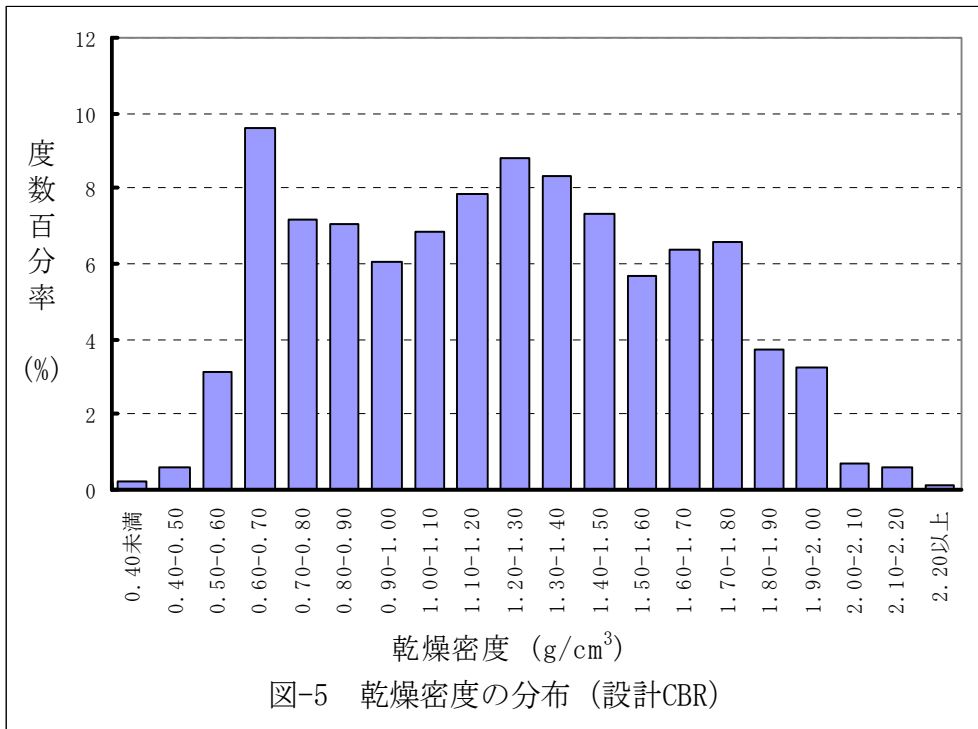
乾燥密度の分布より若干ではあるが乾燥密度 $0.60\sim 1.80/\text{cm}^3$ で全体的に分散している。自然含水比とCBRの関係では、自然含水比10%以下の路床土のほとんどがCBR3%以上である。また、自然含水比が20%以下の土はCBR値が広い分布を呈している。

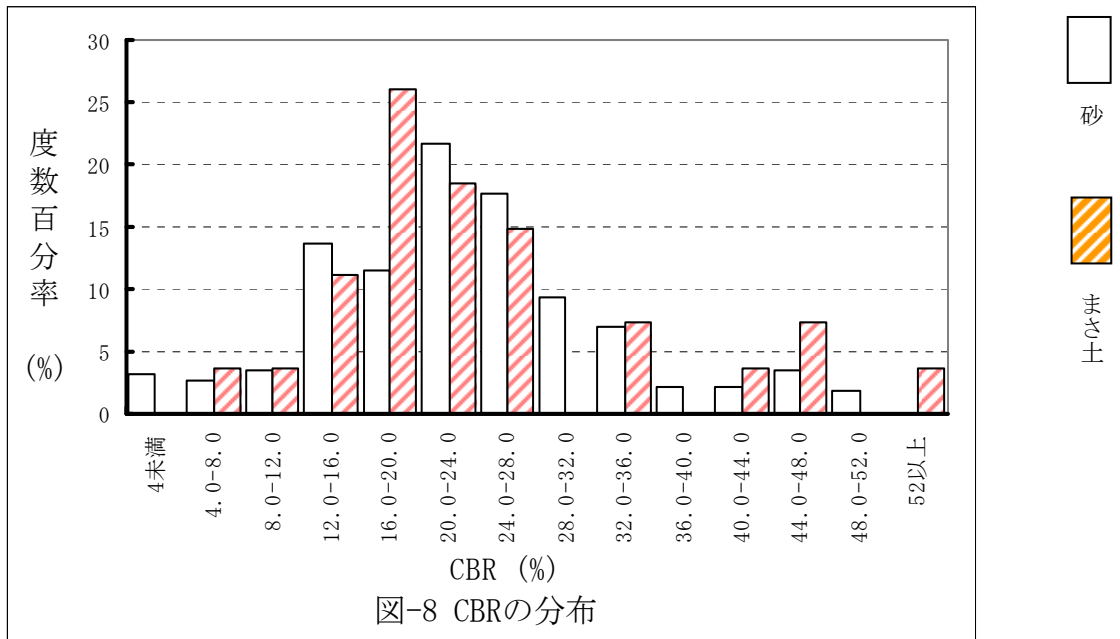
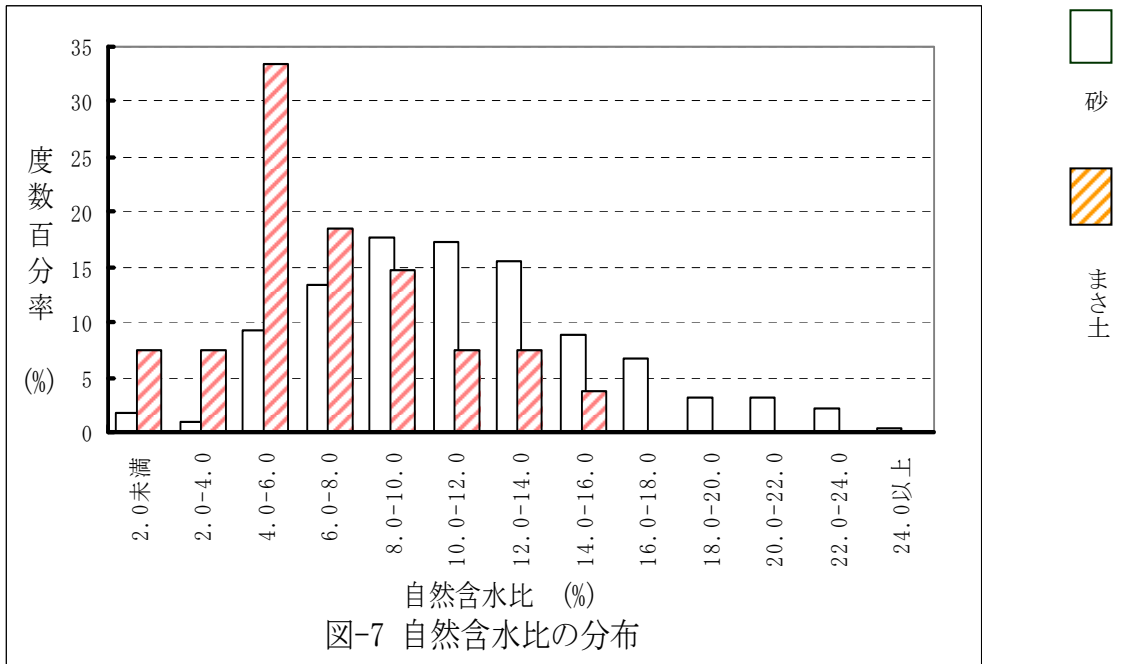
3・2・2 置換用砂の品質管理試験

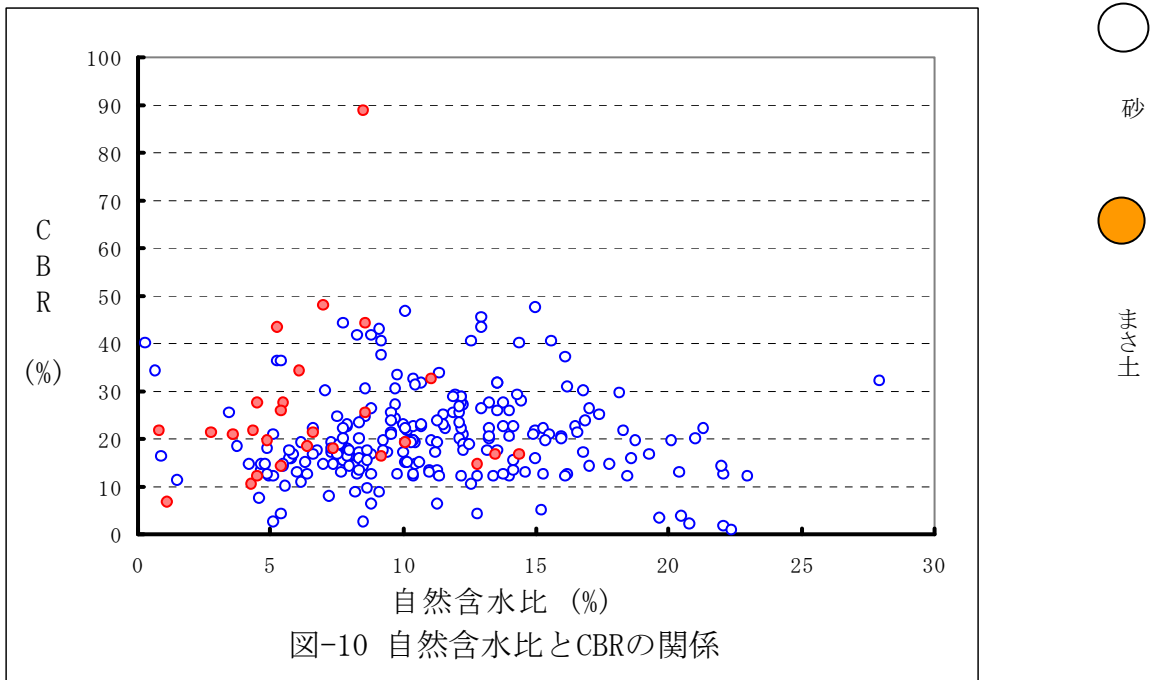
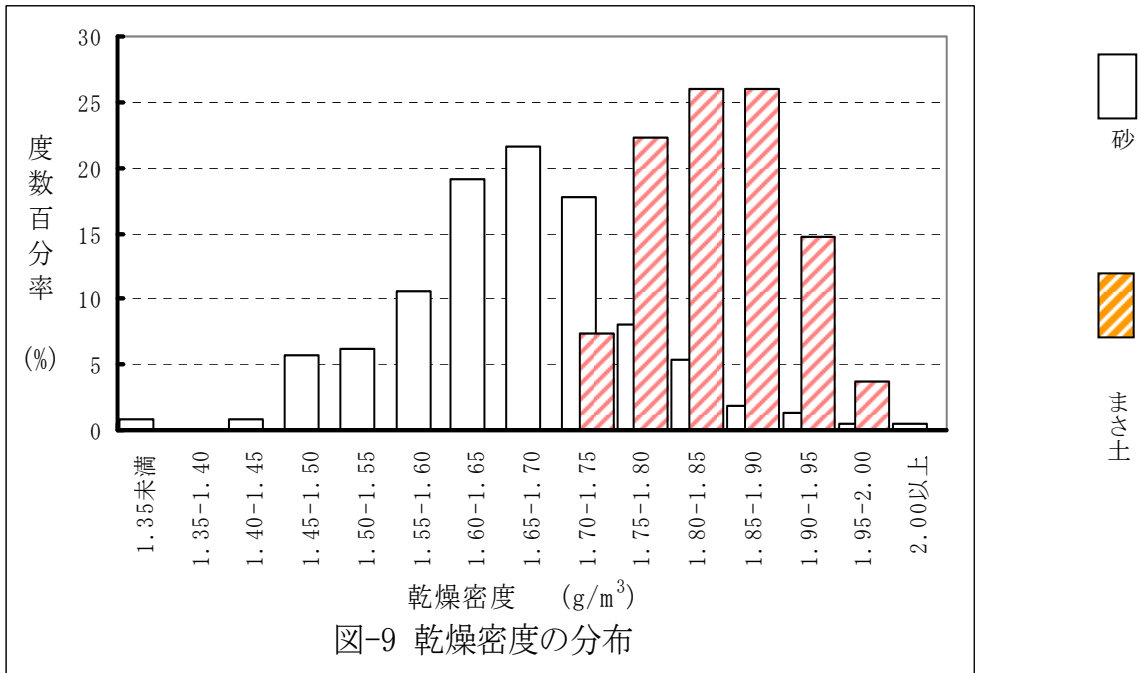
県内では、置換用砂として山砂とまさ土が使用されており、両者を比較する形でまとめた。図－7に自然含水比の分布を、図－8にCBRの分布を、図－9に乾燥密度の分布を示し、図－10には自然含水比とCBRの関係を示した。

土の含水量の多少は力学的性質に大きな影響を与え、CBR値もそれに左右される。砂は含水比2～20%の範囲に集中し、まさ土は花崗岩質のため水分をあまり含まず、含水比2～16%に分布しており、砂に比べてわずかに低い値を呈していた。まさ土は砂に対し、CBRや乾燥密度において砂よりも高い値を呈していた。また、路床入替材としての県の品質規格値であるCBR12%を満足できない割合は砂で9.3%（19年度：10%）、まさ土では7.4%（19年度：2%）であった。まさ土の12%を満足できない割合が前年度に対して3倍に増えた。









3・3 土の透水試験

土の透水試験（JIS A 1218）は、飽和状態で透水係数 K_{15} （cm/sec）を求める試験で、一般に $K_{15} \geq 1 \times 10^{-3}$ 材料に適応する定水位試験と、 $K_{15} \leq 1 \times 10^{-3}$ 材料に適応する変水位試験の2種類がある。

定水位透水試験を行った土質材料は、主に遮断層やサンドマットに用いる砂であり、変水位試験を行った土質材料は、河川堤防やグラント整備など盛土材料としての砂質土や細粒土である。

土の透水係数は、試料の粒径・粒度分布・土粒子骨格の性質・土の間隙比・飽和度などの土の状態等によって左右されることが分かっている。そこで52件の室内透水試験結果から、自然含水比と透水係数、細粒分の混入率と透水係数の関係についてまとめた。

図-11は、自然含水比（ W_0 ）と透水係数（ K_{15} ）との関係を示したものである。

回帰式は、

$$K_{15} = 0.0315 \times e^{-0.2179W_0} \quad (e = \text{自然対数}) \quad R^2 = 0.07999$$

である。

図-12は、細粒分（0.075mm通過分）と透水係数（ K_{15} ）の関係を示した。

回帰式は、

$$K_{15} = 0.0104 \times e^{-0.1984P_{\text{pass}}} \quad (e = \text{自然対数}) \quad R^2 = 0.6336$$

である。細粒分（0.075mm通過分）と透水係数（ K_{15} ）の相関性は、非常に有意な相関を示す。

その他、透水係数（ K_{15} ）と有効径（ D_{10} ）の関係では、Hazen-Poiseuilleの式から、a・Hazenが実験的に土粒子の径から透水係数を算定した実験式で、比較的均一な粒径からなる砂に対してのみ適用できる式

$$K = C \times D_{10}^2 \quad (\text{cm/sec}) \quad \text{ここに、} C \text{は定数}$$

がある。

また、透水係数の推定をする場合、現場でよく利用されているといわれている有効径（ D_{20} ）と透水係数（ K_{15} ）の関係についてまとめたCreagerによる方法を表-1に示した。

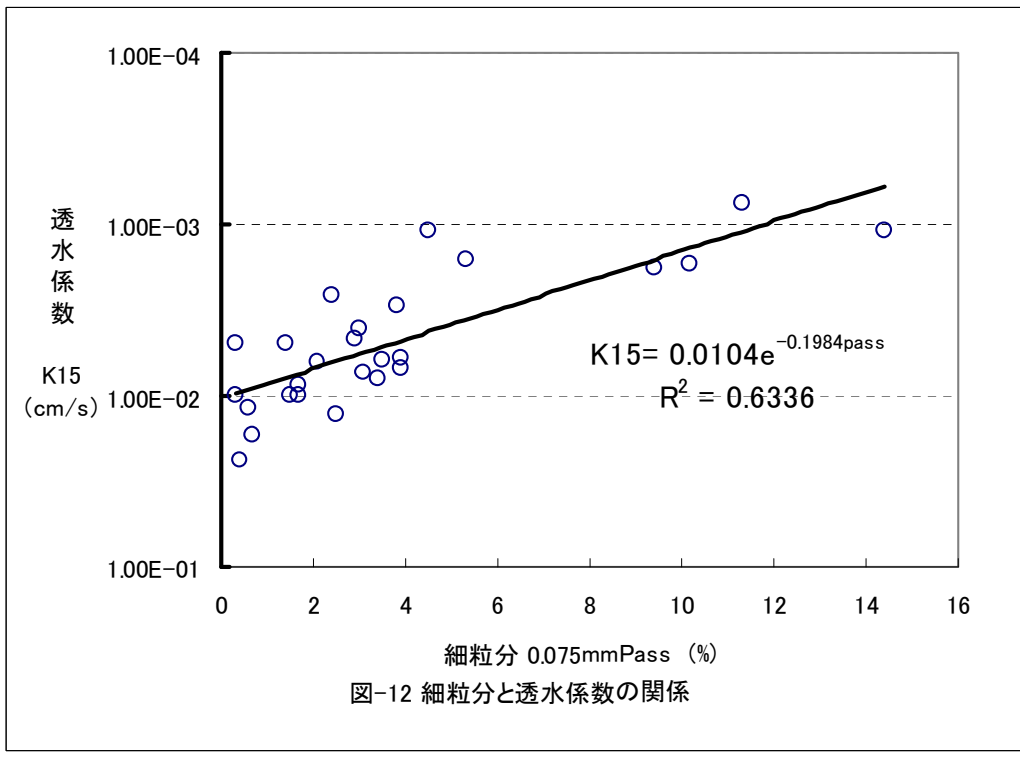
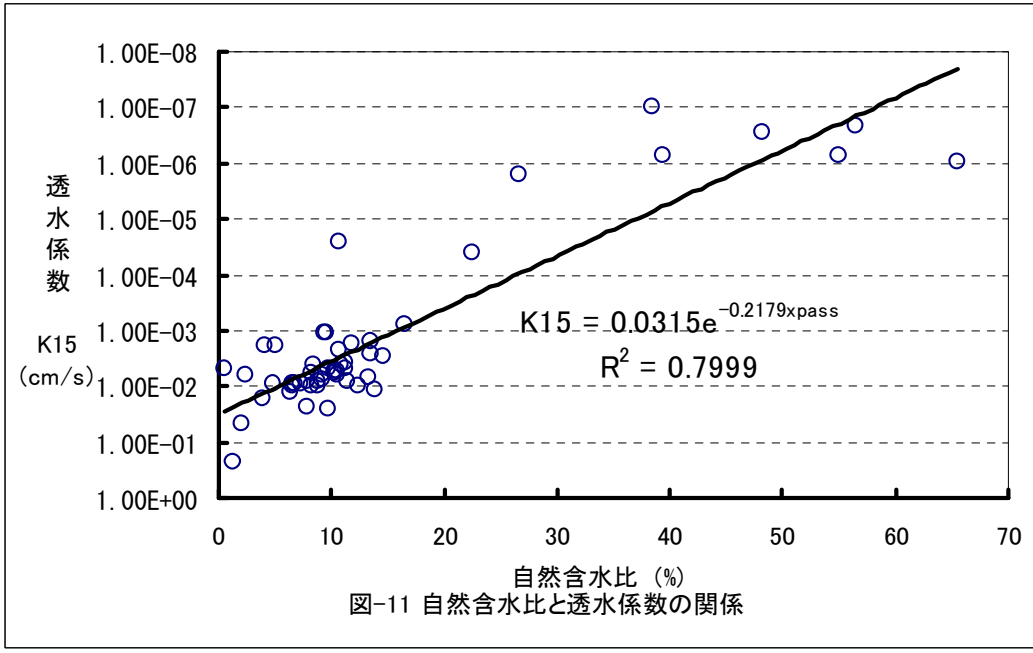
このCreagerによる方法について回帰式を求めると

$$\text{Creager } K_{15} = 0.341031 \times D_{20}^{2.29207}$$

となる。

表—1 クレガー (Creager) による D_{20} と透水係数

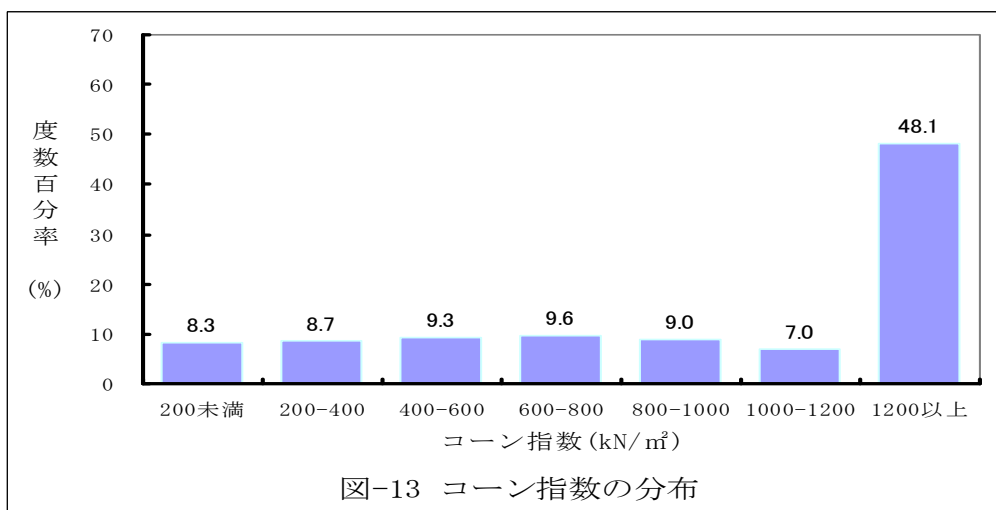
D_{20} (mm)	K_{15} (cm/sec)	土質分類	D_{20} (mm)	K_{15} (cm/sec)	土質分類
0.005	3.00×10^{-5}	細粒粘土	0.18	6.85×10^{-3}	微粒砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.20	8.90×10^{-3}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗粒シルト	0.25	1.40×10^{-2}	
0.03	8.50×10^{-5}		0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.04	1.75×10^{-4}		0.35	3.20×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.40	4.50×10^{-2}	
0.06	4.60×10^{-4}		0.45	5.80×10^{-2}	
0.07	6.50×10^{-4}	極微粒砂	0.50	7.50×10^{-2}	
0.08	9.00×10^{-4}		0.60	1.18×10^{-1}	粗粒砂
0.09	1.40×10^{-3}		0.70	1.60×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}		0.80	2.15×10^{-1}	
0.12	2.60×10^{-3}	微粒砂	0.90	2.80×10^{-1}	
0.14	3.80×10^{-3}		1.00	3.60×10^{-1}	
0.16	5.10×10^{-4}				



3・4 土のコーン貫入試験

リサイクル事業部が運営するストックヤードでは、第3種建設発生土（コーン指数が 400kN/m^2 以上の発生土）以上を受け入れている。そのためストックヤードを利用する際には、必ず土のコーン指数を確認するよう求めている。ここでは、ストックヤードを利用するために試験された試料に限定してまとめた。

コーン指数の分布を図-13に示す。コーン貫入試験は、もともと軟弱土の強度特性を判定するための試験なので、使用する力計容量は 1kN となっている。ここでは 1200kN/m^2 を越えるデータはひとまとめにして図にした。目標値 400kN/m^2 未満の試料が 17.0% （19年度： 19.0% ）となり、前年度に対して約 2.0% 減少した。



それぞれの試料の含水比とコーン指数の関係を図-14に示した。コーン貫入試験では、 4.75mm ふるい通過分による試験のため、原試料の状態をすべてあらわすわけではないが、含水比が 20% 以下では 400kN/m^2 以下の試料はほとんどなく、大半が 1000kN/m^2 以上である。

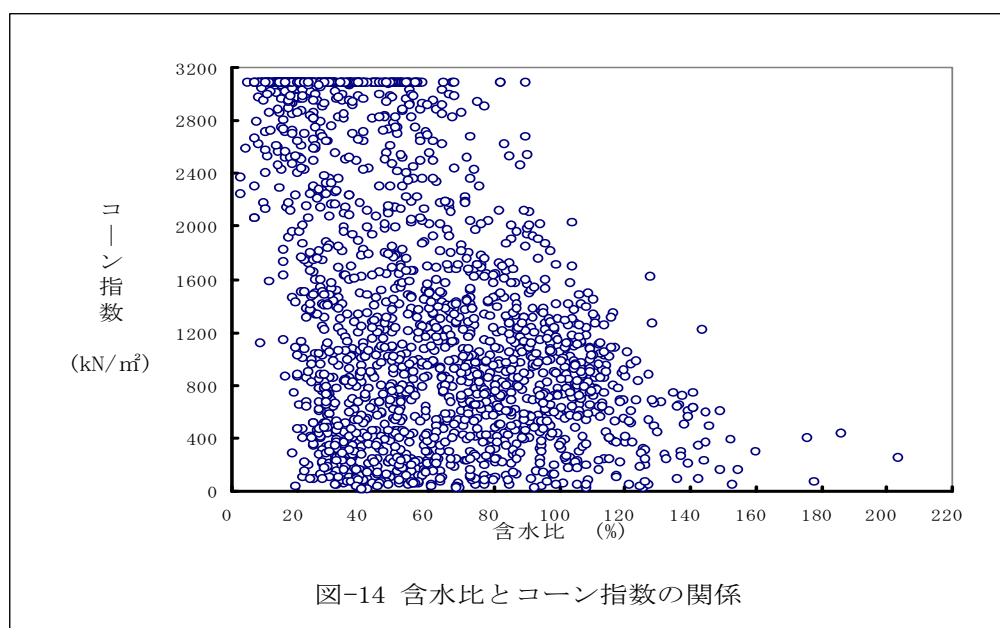


図-14 含水比とコーン指数の関係

3・5 土の三軸圧縮試験

土の三軸圧縮試験（地盤工学会基準）は、あらゆる土質に適用可能であり、理論的に最も妥当な試験法とされている。この試験は、必要に応じ圧密・排水条件の異なる4基準の試験方法に分けられ、表-2に4基準の目的と適用範囲を示した。

当センターにおける依頼状況は、材料の品質管理を目的とするものが多く、平成20年度は26件（19年度：31件）の依頼があった。その結果を表-3に示した。

表-2 土の三軸圧縮試験4基準の目的と適用範囲

基準	目的	条件	適用土質 (準用される場合)
非圧密非排水 (UU) 三軸試験	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮強度特性 ・変形特性 	透水性の小さな地盤において排水が生じないような急速載荷される場合	飽和した粘性土 (飽和度の高い土)
圧密非排水 (CU) 三軸試験	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮強度特性 ・変形特性 	載荷重によって圧密され強度が増加した後、排水が生じないように急速載荷される場合	飽和した粘性土 (飽和した粗粒土)
圧密非排水 (CU) 三軸試験	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮強度特性 ・変形特性 ・有効応力解析の情報 	載荷重によって圧密され強度が増加した後、排水が生じないように急速載荷される場合	飽和した粘性土 (飽和した粗粒土)
圧密排水 (CD) 三軸試験	<ul style="list-style-type: none"> ・圧縮強度特性 ・変形特性 	載荷重によって圧密され強度が増加した後、地盤内に過剰間隙水圧が生じないように載荷される場合	飽和した土 (最大粒径が20mm程度を超える飽和していない粗粒土)

表一 3 土の三軸圧縮試験結果一覧表

*印は依頼者の指定により実施

試験基準	土質名	湿潤密度	含水比	粘着力	せん断抵抗角
		ρ_t (g/cm ³)	W _o (%)	C (kN/m ²)	ϕ (度)
UU	火山灰質粘性土	1.364	85.6	31.88	11.8
UU	火山灰質粘性土	1.526	61.5	51.10	10.6
UU	火山灰質粘性土	1.485	87.4	33.69	3.3
UU	粘性土	1.674	45.8	62.32	16.7
UU	粘性土	1.467	69.1	9.10	1.8
UU	礫まじり砂質シルト	1.872	29.0	150.13	11.3
CD	砂	1.912	20.2	26.65	35.4
CD	砂	1.659	13.4	29.59	33.5
CD	細粒分混じり砂	1.858	31.8	26.95	34.6
CD	砂質土	1.837	22.9	31.27	36.4
CD	砂質土	1.899	31.6	16.54	37.9
CD	砂質土	1.788	39.0	25.39	34.6
CD	礫質土	2.057	19.0	24.23	37.0
CD	礫質土	2.002	18.2	35.92	33.2
CD	礫質土	1.736	9.7	25.81	35.4
CD	礫質土	1.698	15.6	18.96	35.1
CD	礫質土	2.028	22.1	28.37	37.9
CD	礫質土	1.757	42.2	30.30	35.2
CD	礫質土	1.896	30.4	21.99	37.0
CD	礫質土	1.920	17.1	15.18	37.6
CD	まさ土	1.928	23.6	41.44	35.0
CD	まさ土	1.670	48.2	32.21	35.0
CD	まさ土	1.917	7.8	43.07	37.2
CD	まさ土	1.863	12.3	20.06	35.9
CD	まさ土	1.853	28.3	21.00	36.1
CD	改良土	1.889	25.5	90.06	38.6

3・6 基礎地盤の平板載荷試験

本試験は、載荷板の荷重－沈下関係から地盤反力係数や極限支持力など地盤の支持特性などを求め、土木及び建築構造物の基礎の設計及び条件の確認を目的とした原位置試験である。

平成 20 年度に於ける基礎地盤の平板載荷試験の依頼件数は 10 件であり、試験は地盤工学会基準「地盤の平板載荷試験方法 (JGS 1521-1995)」に基づいて行っている。その結果は一覧表にまとめ表－4 に示した。前述したように依頼された試験は、設計時に用いた地盤支持力の確認である。計画最大荷重以上であり極限支持力は確認していない。

表－4 基礎地盤の平板載荷試験結果一覧表

場 所	土質名	工 種	計画最大荷重 (kN/m ²)	サイクル (回数)	極限支持力 (kN/m ²)	沈下量 (mm)	地盤反力係数 (MN/m ³)
常 陸 太田市	礫質土	道路 改良	140.00	1	—	0.673	209.3
ひたち なか市	砂質土	函梁	87.00	1	—	1.518	57.3
笠間市	まさ土	橋梁	200.00	1	—	6.913	28.9
〃	まさ土	橋梁	300.00	1	840.00	9.150	32.8
〃	まさ土	橋梁	300.00	1	—	4.363	68.8
常 陸 大宮市	火山灰質粘性土	建屋	100.00	1	—	4.233	23.6
つくば みらい市	粘性土 (改良土)	橋梁	150.00	1	—	0.653	229.7
那珂市	火山灰質粘性土	建屋	80.00	1	—	1.883	42.5
〃	粘性土 (改良土)	建屋	100.00	1	—	0.780	128.2
大洗町	火山灰質粘性土	建屋	50.00	1	—	0.533	93.8