

コンクリート構造物の補修・補強に関するフォーラム2021
2021年11月25日（木）

各種非破壊検査によるコンクリート表層品質評価の問題点と維持管理のための活用方法について

東北学院大学
武田三弘

2021/11/25

1

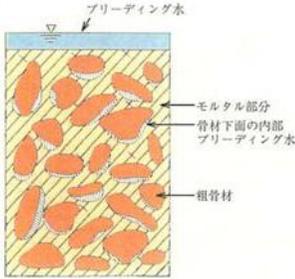
講演内容

- 密実なコンクリートの重要性
- 各種非破壊検査の特徴（トレント法、SWAT、簡易透気試験の紹介）
- 各種非破壊検査の関係性
- 水分率の変化が測定結果に及ぼす影響
- 水分計の特徴とコンクリート表面の水分率の変化
- 締固め時間を変えた壁の密実性の評価事例
- 床版の密実性の評価事例
- 簡易透気試験による実構造物のコンクリート品質評価事例

2021/11/25

2

密実なコンクリートの重要性



① プリーディングの大きいコンクリートの場合、粗骨材の底部にもプリーディング水が溜まり、この部分が将来空隙となる。そのため、コンクリート打込み方向と直角方向である水平方向に空気や水が最も通過しやすくなる。

② コンクリート打込み面に対して水平に配置された鉄筋などの補強材底部にもプリーディング水が溜まりやすく、将来空隙となり、付着の低下や鉄筋腐食を助長させる原因にもなる。

③ また、コンクリートの沈下が大きい場合にはその周辺にひび割れが発生する（沈みひび割れ）。

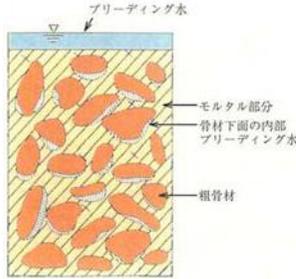
④ コンクリート打込み後、水和反応に伴い、水和生成物の体積が、元の水とセメントの体積より10～13%程度減少し空隙として水和生成物内に存在する。この空隙に水分が供給されれば、水和生成物をこの空隙内に塗り密実となり強度も増大するが、水を供給しないと空隙のまま残り、水和反応が持続しなくなるし、自由水が不連続となるため、残留している水分の部分に毛細管張力が発生して自己収縮を生じることになる。

⑤ 型枠脱型後、湿潤養生を行わないと、最も密実であることを要求されるコンクリートのかぶりの部分が真っ先に乾燥して水和反応が進まなくなるし、空隙の多いかぶりとなる。

コンクリート診断士2020より
2021/11/25

3

密実なコンクリートの重要性



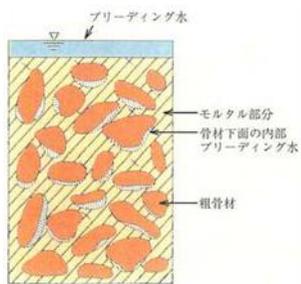
正しい施工

- ① プリーディングが収まる頃、再振動を行い、空隙・ひび割れを取り除くこと。
- ② 養生期間は十分に湿潤養生とすること。
- ③ 型枠脱型後も湿潤養生、もしくは封緘養生を行い水和反応を促進させること。

コンクリート診断士2020より
2021/11/25

4

密実なコンクリートの重要性



空隙量が多いコンクリートの特徴

- ① カビや汚れが発生しやすい。
- ② 本来の強度より低くなる。
- ③ 水分、二酸化炭素、塩分等が浸透しやすい。



溶脱
中性化
塩害
凍害が生じやすくなる

コンクリート診断士2020より
2021/11/25

5

各種非破壊検査の特徴

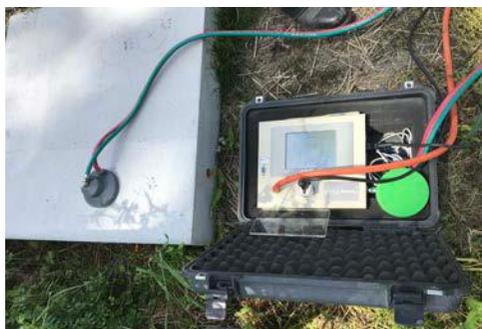
- Torrent法、SWAT、簡易透気試験の紹介



2021/11/25

6

透気試験 (Torrent法)



特徴

- 測定対象とする箇所の表面にチャンバーセルを吸着させ、真空状態から圧力上昇値(時間)を測定することにより、かぶりコンクリートの品質を診断する。
- 測定範囲は実質φ50mm
- 暖気を含めると測定までに1時間弱かかる。
- 緻密なコンクリートの場合、測定時間が長くなる。

透気係数(×10⁻¹⁶m²)
優 : 0.001~0.01
良 : 0.01~0.1
一般 : 0.1~1
劣 : 1~10
極劣 : 10~100

2021/11/25

7

透水試験 (SWAT)



特徴

- 測定対象とする箇所の表面から水を吸水させ、10分間の吸水量から吸水抵抗性を求める方法
- 測定範囲はφ80mm
- 使用する水を外気温に合わせておく必要がある。
- 測定時間は1サイクル15分

表面吸水速度(ml/m²/s)
良 : 0~0.25
一般 : 0.25~0.5
劣 : 0.5~

2021/11/25

8

簡易透気試験 (KTS)



2021/11/25

特徴

- 測定対象とする箇所に-80kPaの負圧をかけ、-60kPaまで増圧するのにかかった時間で増圧量を割った値 (kPa/sec) を透気係数として評価する方法
- 測定範囲はφ100mm
- 測定時間は3分
- 制作費用は1万円以下

簡易透気係数 (kPa/sec)
密 : 0.05以下
一般 : 0.05~0.5未満
粗 : 0.5以上



2021/11/25

9

簡易透気試験 (KTS) によるひび割れ貫通評価



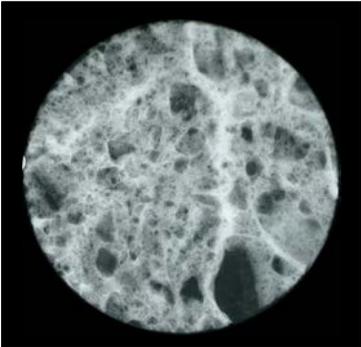
2021/11/25

セパレータ周辺の沈みひび割れの貫通確認用に開発

○新設時判断基準 (増圧時間)
非貫通 < 0.67 ≦ 貫通

10

X線造影撮影法



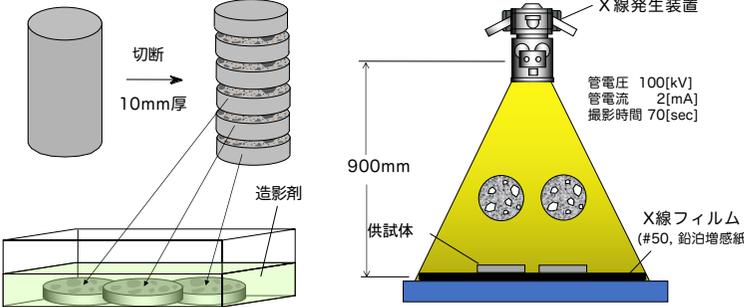
2021/11/25

特徴

- コンクリート用に開発した造影剤をコンクリートに浸透させ、X線撮影を行うことで、コンクリート内部のひび割れや空隙を検出・定量化することができる
- コンクリートからコアを抜いて厚さ10mmにスライスする必要があるが、10mm毎の深さ方向の空隙量を定量化することができる
- 定量化した値 (透過線変化量) から圧縮強度を推定することができる
- 費用は要相談

11

X線造影撮影法



2021/11/25

切断
10mm厚

造影剤

900mm

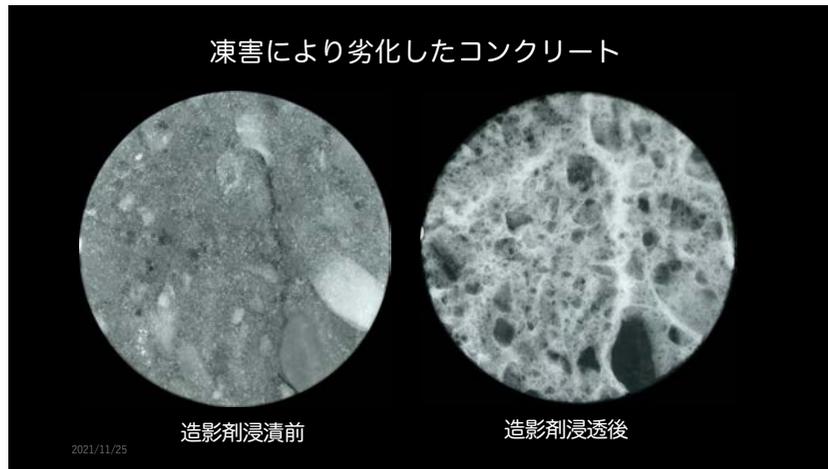
X線発生装置

管電圧 100[kV]
管電流 2[mA]
撮影時間 70[sec]

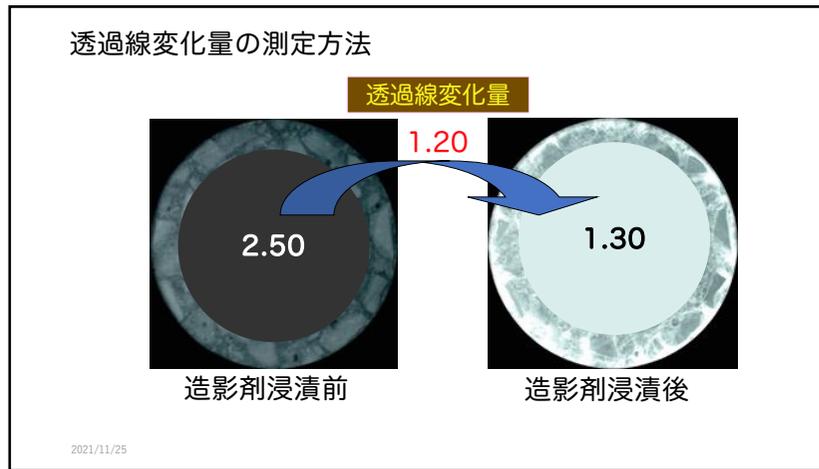
X線フィルム (#50, 鉛箔増感紙)

供試体

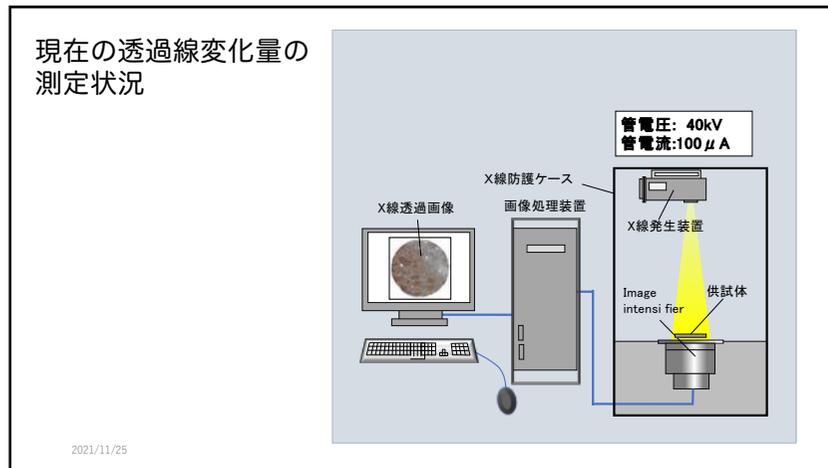
12



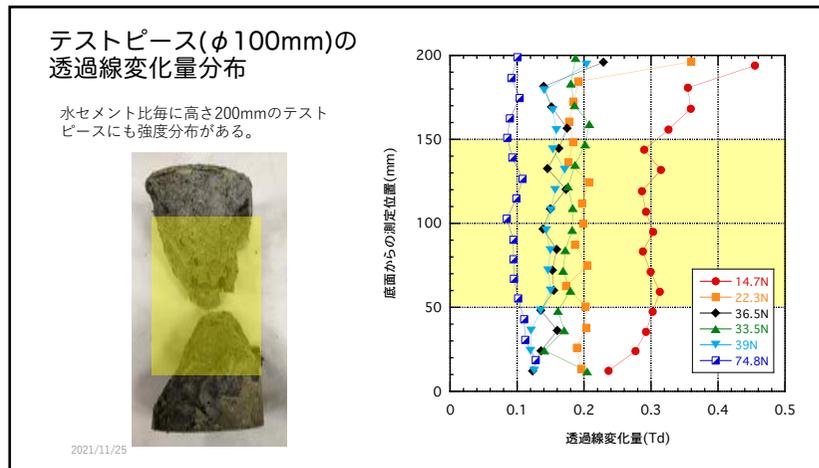
13



14



15



16

調査対象供試体



土間コン・床版を想定した供試体

2021/11/25

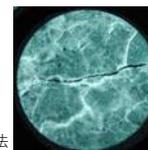


壁を想定した供試体

17

測定の 順番

X線造影撮影法



透気試験 (Torrent法)



透水試験 (SWAT)



簡易透気試験

2021/11/25

18

各種非破壊検査の関係性

Torrent法：155箇所
 SWAT：123箇所
 簡易透気試験：145箇所
 X線造影撮影法：119箇所

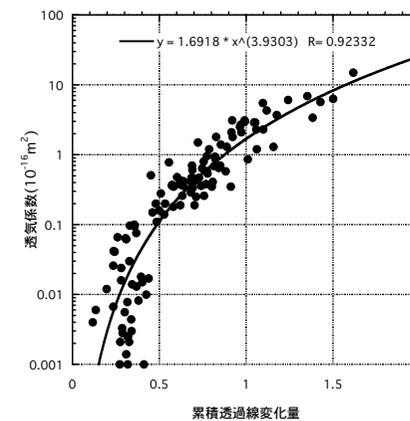
国土交通省東北地方整備局 東北技術事務所
 (株) 復建技術コンサルタント
 (株) タイハク
 仙台コンクリート試験センター (株)
 のご協力を頂きました。

2021/11/25

19

Torrent法と累積透 過線変化量の関係

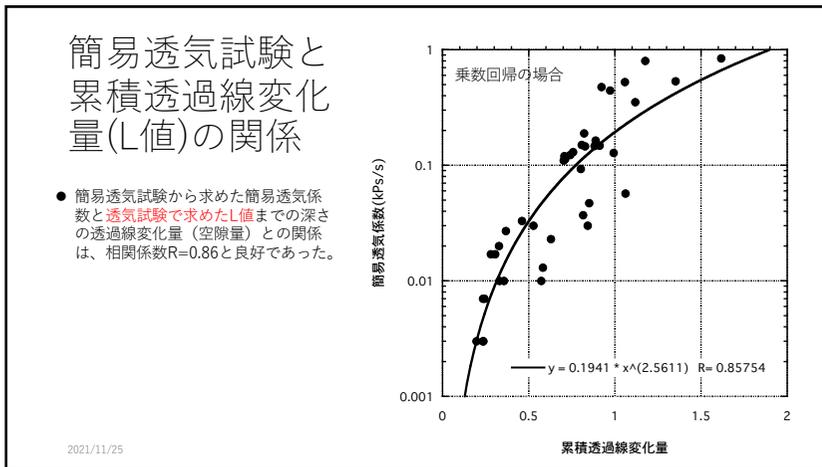
- 累積透過線変化量は、透気試験における測定深さL値までの空隙量を透過線変化量で求めたもの。
- Torrent法により求められた透気係数は、L値の深さまでの空隙量の総量を意味している。



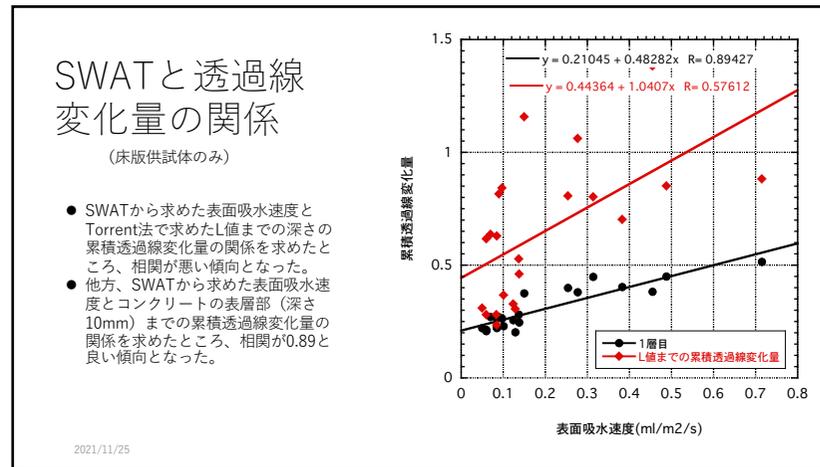
縦軸対数表示の場合

2021/11/25

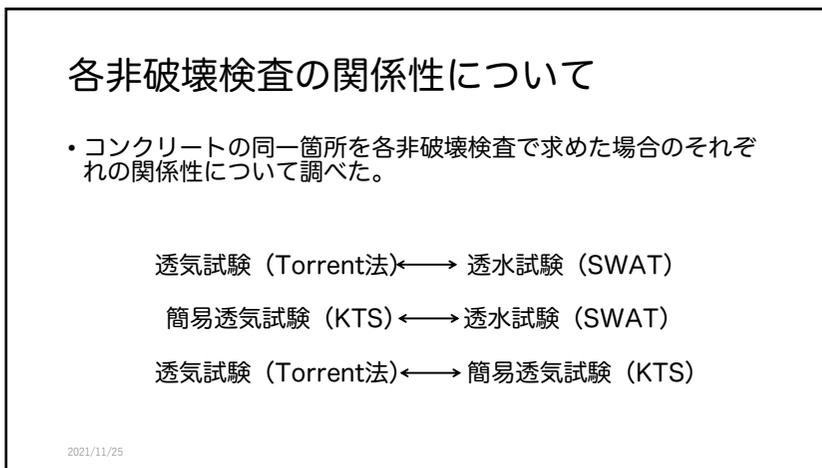
20



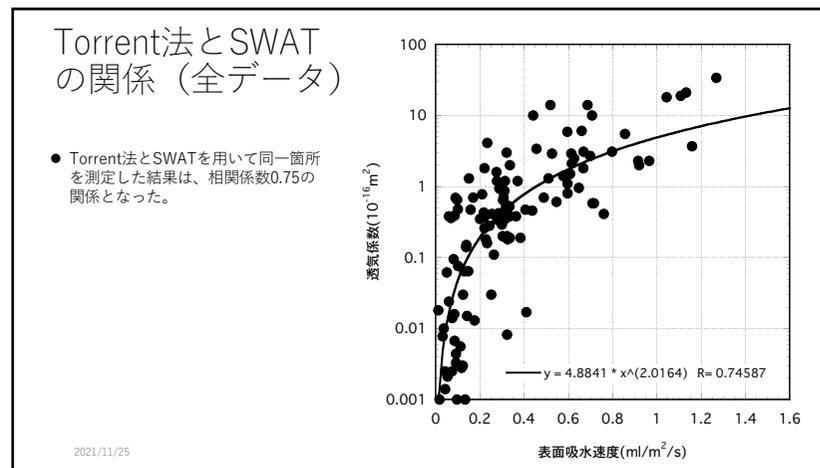
21



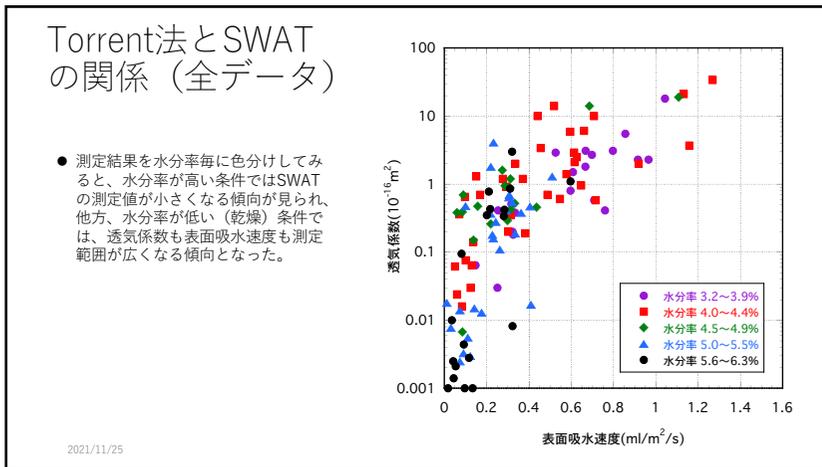
22



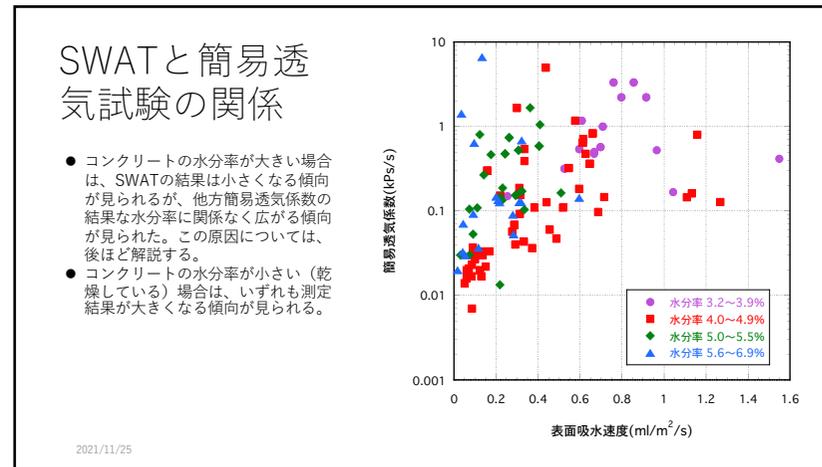
23



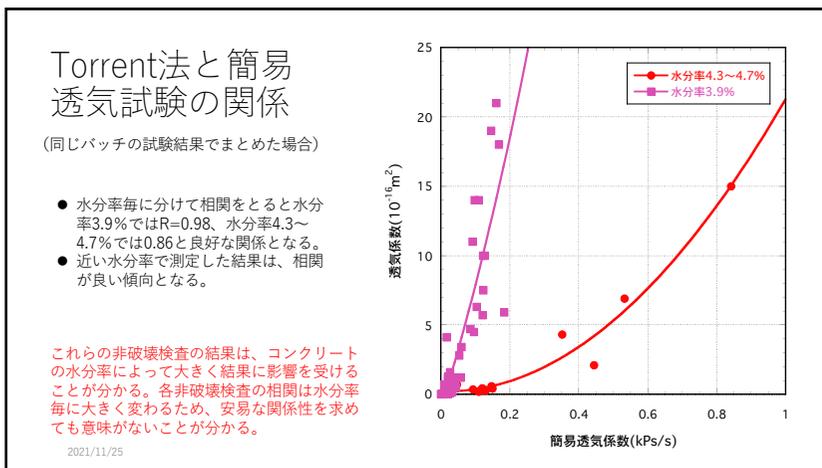
24



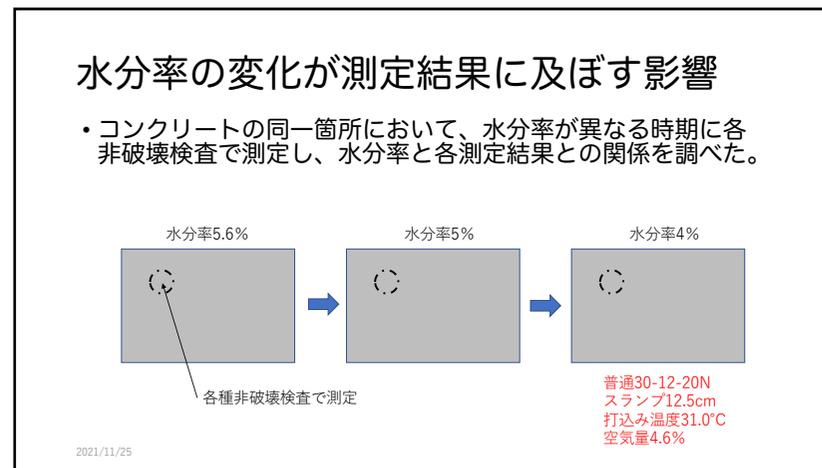
25



26



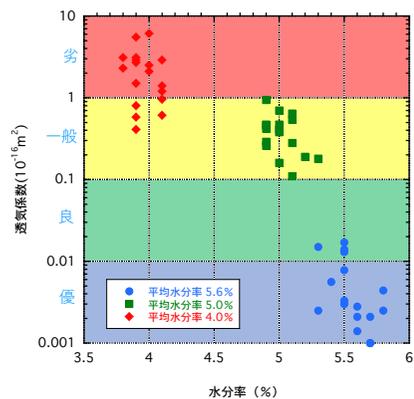
27



28

Torrent法と水分率との関係

- コンクリートの水分率が、平均5.6%、5.0%、4.0%に変化した際に透気試験を行ったところ、測定結果は水分率が高くなるほど評価が低くなる傾向となった。
- 水分率が高い条件ほど、透気試験による評価は良くなる傾向となった。

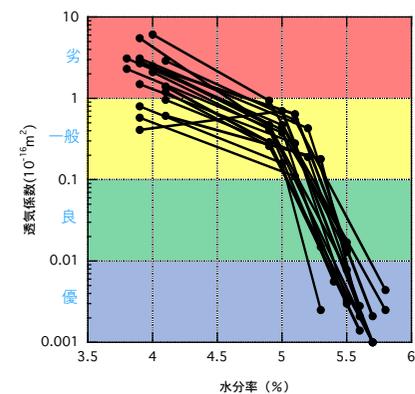


2021/11/25

29

Torrent法と水分率との関係

- 同一測定箇所の水分率毎の変化を見てみると、水分率が高くなるにつれ、急激に透気係数は小さくなる傾向となった。

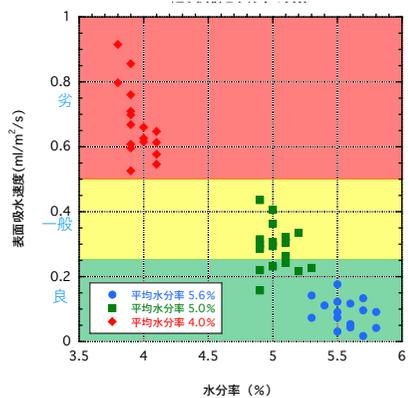


2021/11/25

30

SWATと水分率との関係

- コンクリートの水分率が、平均5.6%、5.0%、4.0%に変化した際に透気試験を行ったところ、測定結果は水分率が高くなるほど評価が低くなる傾向となった。
- 水分率が高い条件ほど、透気試験による評価は良くなる傾向となった。

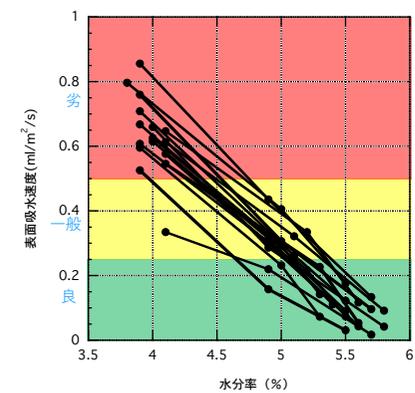


2021/11/25

31

Torrent法と水分率との関係

- 同一測定箇所の水分率毎の変化を見てみると、水分率が高くなるにつれ、直線的に表面吸水速度が小さくなる傾向となった。
- この傾向は、測定深さが表層付近の浅い位置 (10mm以内) のため、線形的な変化になったものと考えられる。

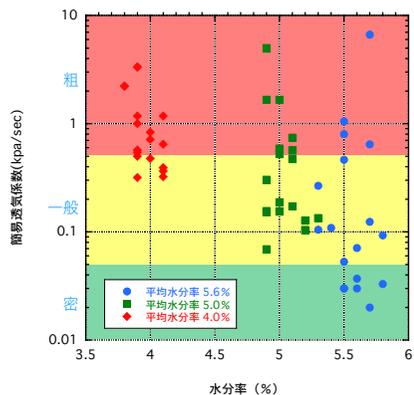


2021/11/25

32

簡易透気試験 と水分率との関係

- コンクリートの水分率が、平均5.6%、5.0%、4.0%に変化した際に簡易透気試験を行ったところ、測定結果は水分率が高くなるほど評価範囲も広がる傾向となった。

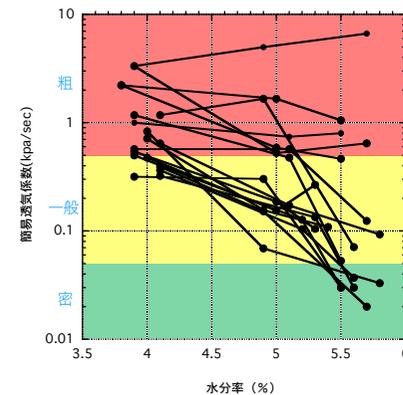


2021/11/25

33

簡易透気試験 と水分率との関係

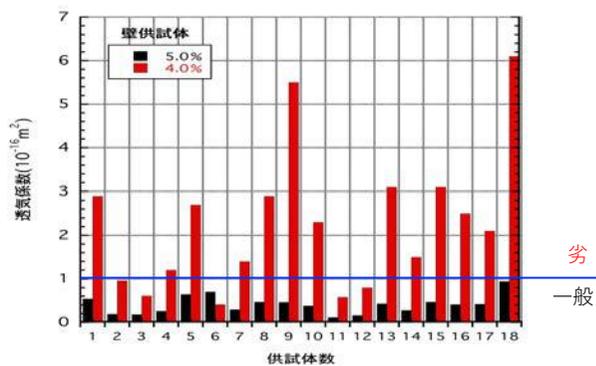
- コンクリートの水分率が、平均5.6%、5.0%、4.0%に変化した際に簡易透気試験を行ったところ、測定結果は水分率が高くなるほど評価範囲も広がる傾向となった。
- 特徴としては、ばらつきが大きくなるのではなく、粗の箇所は水分率に関係なく粗のままで評価される箇所が多くなることがわかった。
- この特徴は、試験で扱う負圧が -80 k Paと大きいため、水分の影響を受けづらいものと考えられる。



2021/11/25

34

水分率が異なる条件の透気係数 (壁)



2021/11/25

35

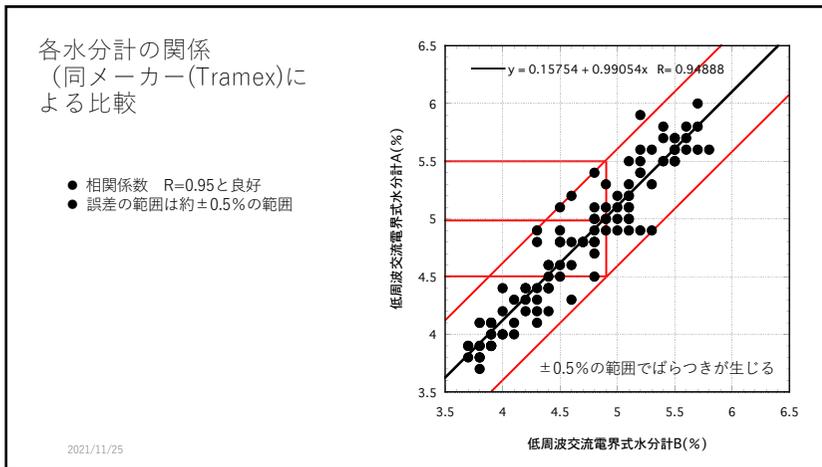
水分計の特徴とコンクリート表面の水分率の変化

- 水分計の特徴
- 屋外・室内供試体の湿度変化と水分率の傾向

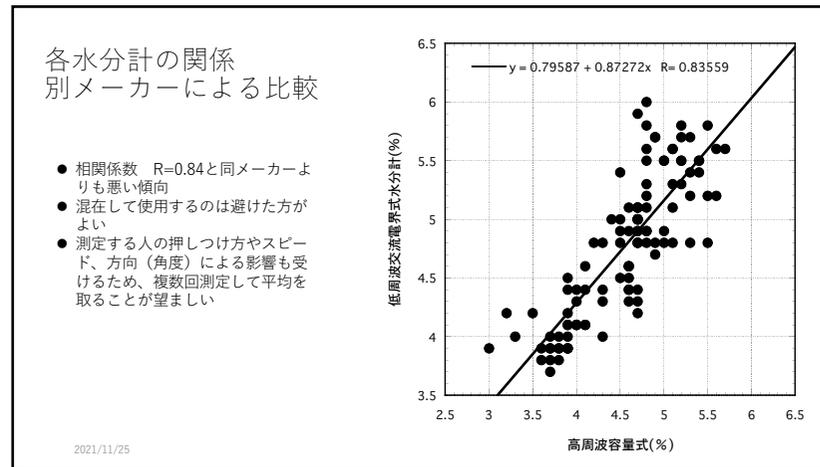


2021/11/25

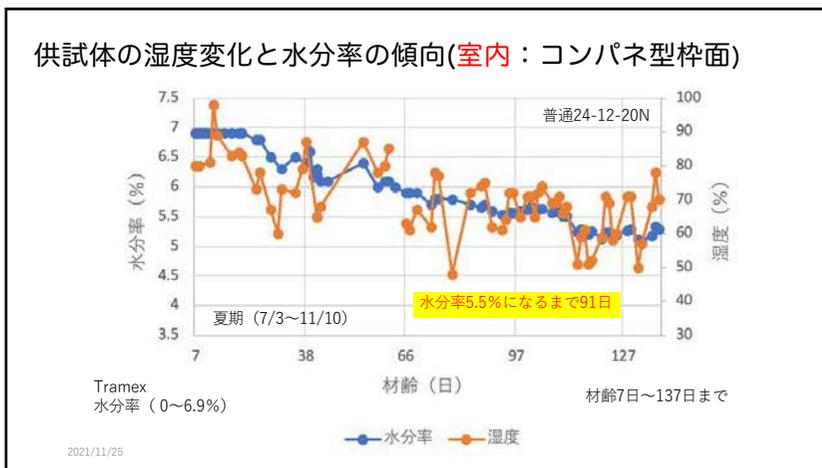
36



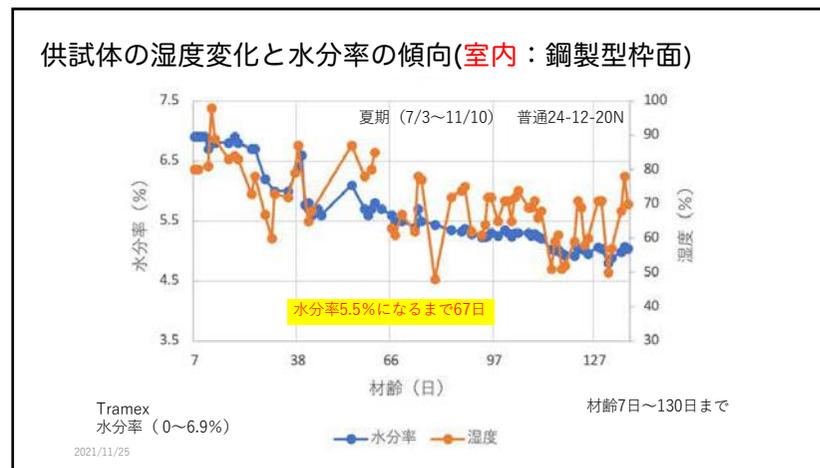
37



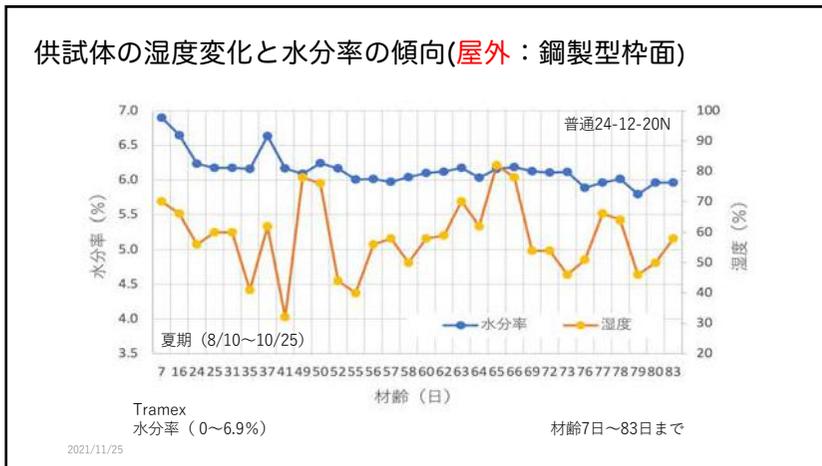
38



39



40



41

締固め時間を変えた壁の密実性の評価事例

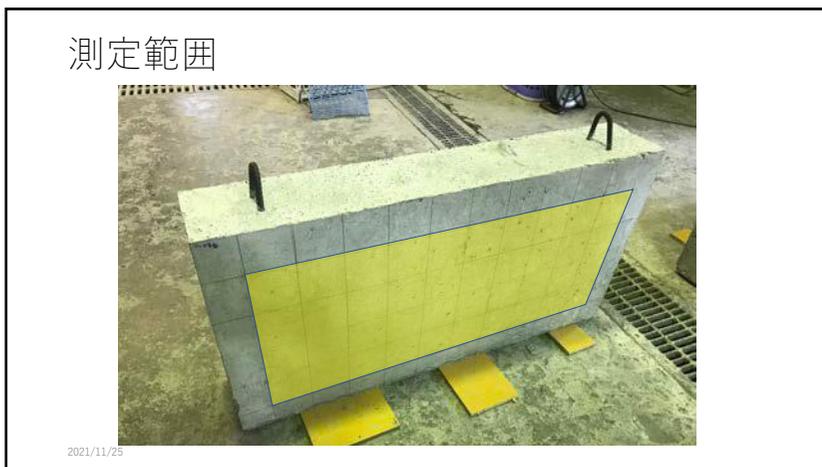
※供試体寸法：1160×600×200mm

2020年7月9日
普通24-12-20BB

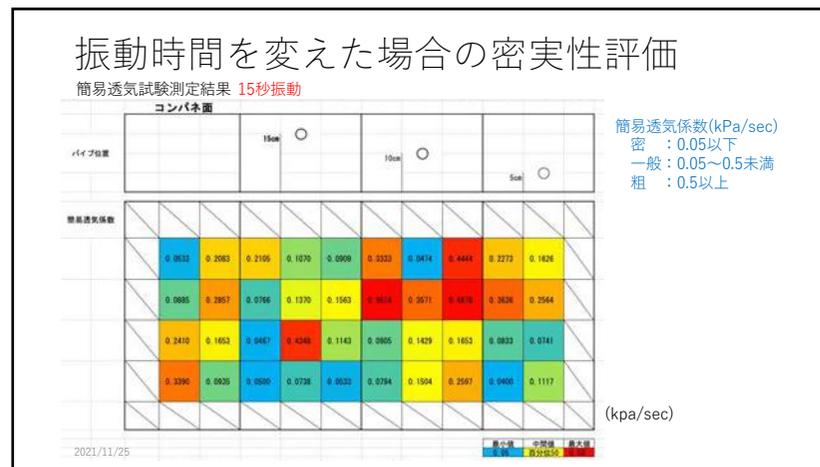
※パイレータは1供試体あたり3箇所、15秒と30秒の2通り

2021/11/25

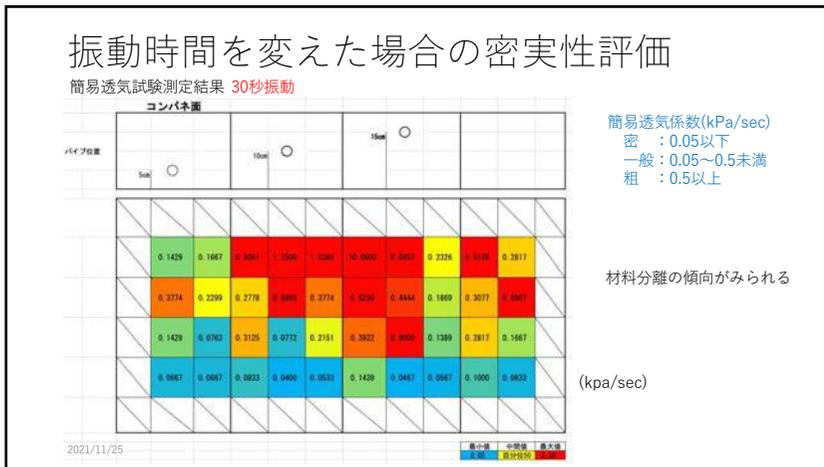
42



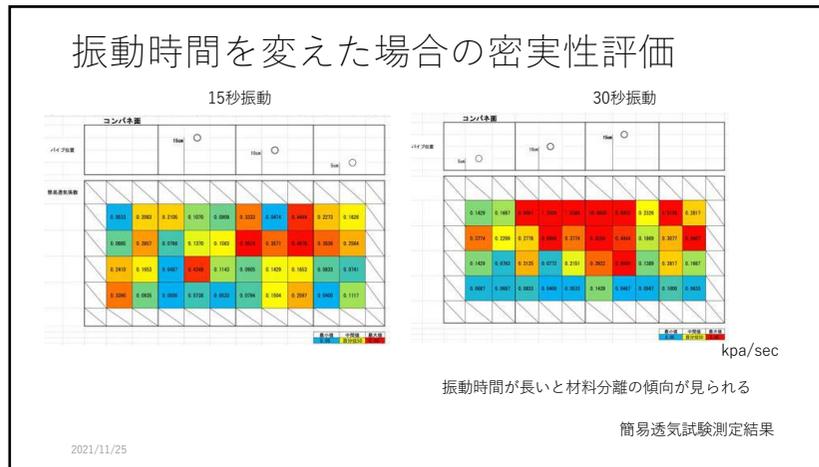
43



44



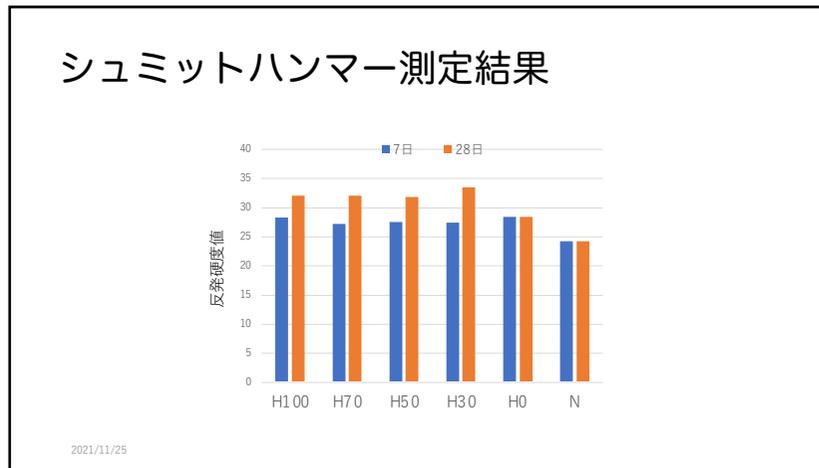
45



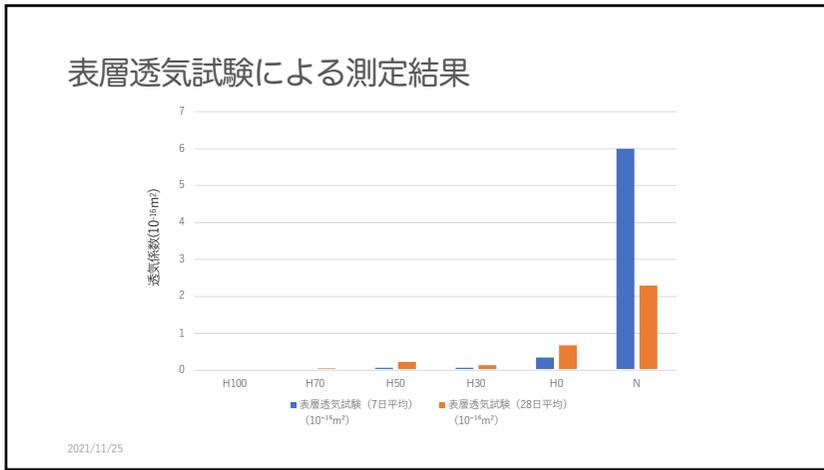
46



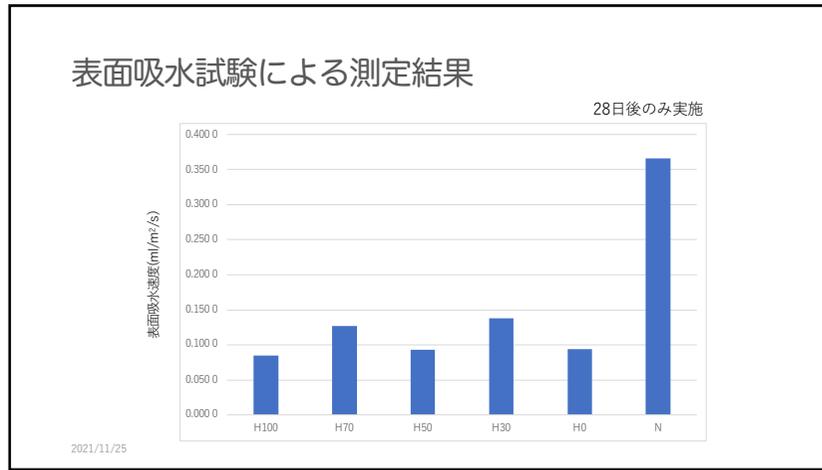
47



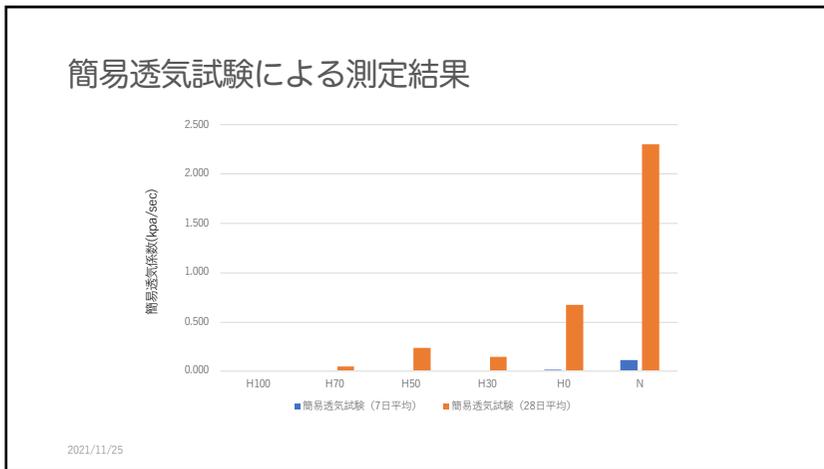
48



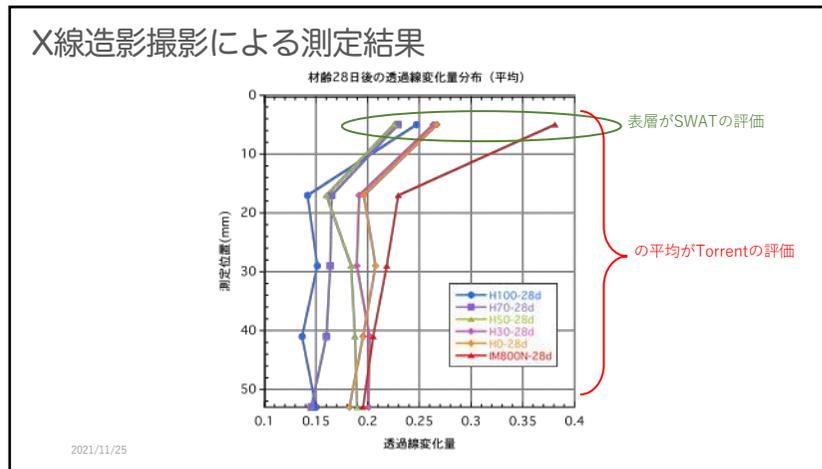
49



50



51



52

地覆部の密実性の評価事例

※養生マットを1週間のみ敷設、途中の給水は無し
7日後と28日後に同一箇所について各種非破壊検査を実施

普-24-12-20N
スランプ7.6cm
空気量5.6%



打込み前

打込み後

2021/11/25

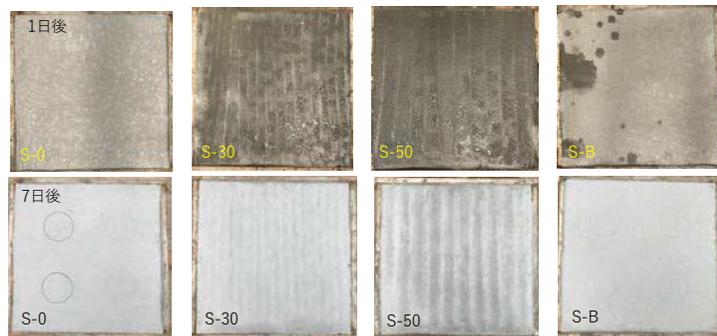
53

地覆部の密実性の評価事例



54

供試体の表面の状況



2021/11/25

※3日後にはいずれのマットも保水量0となった。

55

材齢7日後の各種非破壊検査状況

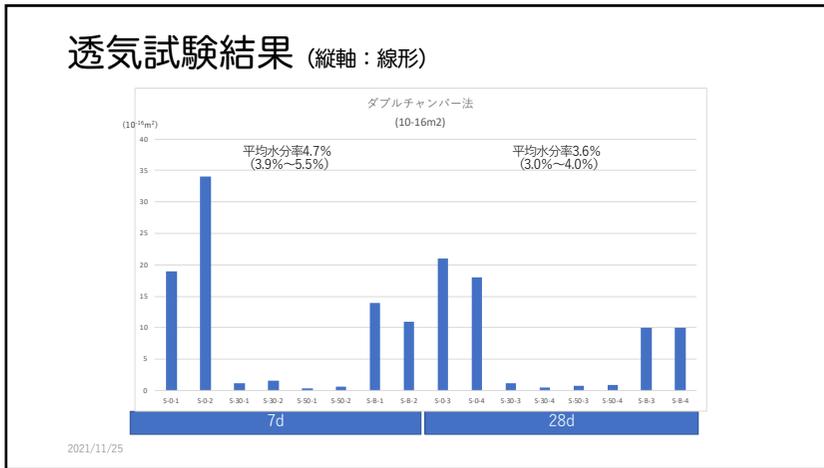


透気試験測定風景

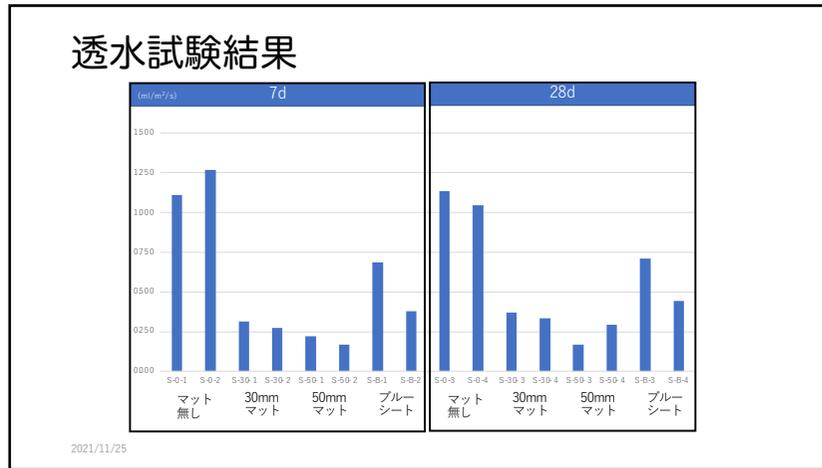
透水試験測定風景

2021/11/25

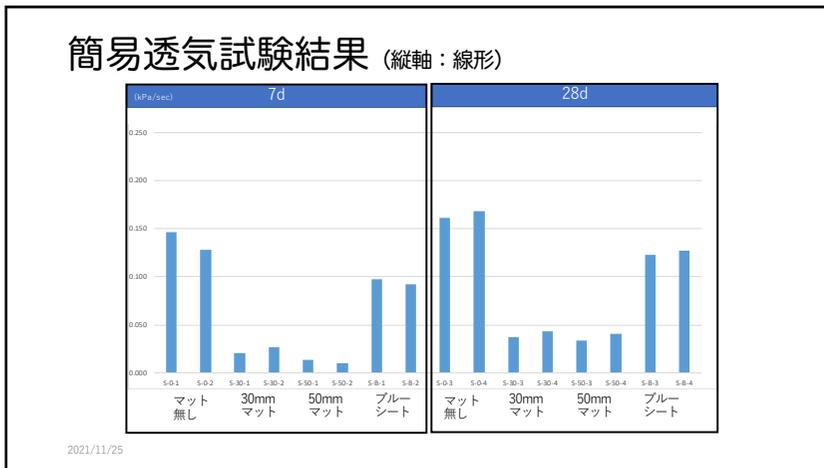
56



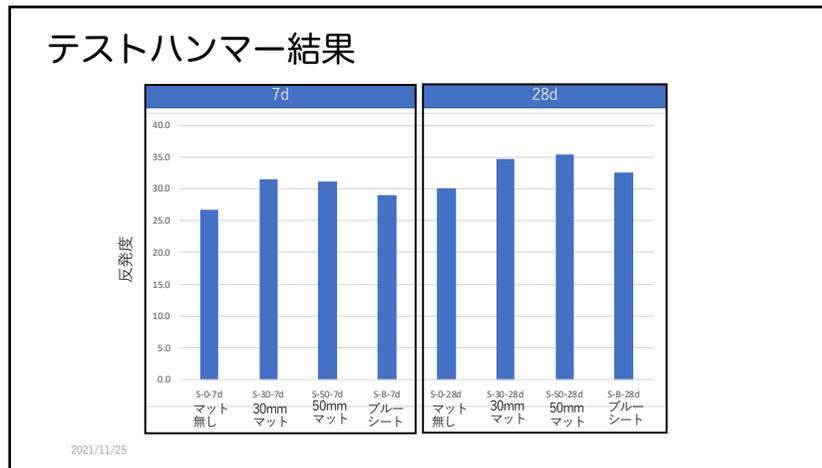
57



58



59



60

簡易透気試験による実構造物のコンクリート品質評価事例

- 東北技術事務所内点検用樋門
- 樋門（宮城）
- ボックスカルバート（山形）

2021/11/25

61

東北技術事務所内の試験樋門



2021/11/25

62

東北技術事務所内の試験樋門



2021/11/25

63

2020年11月24日測定
測定範囲をチョークで書き込み
↓
水分計により水分率の測定
↓
簡易透気試験の測定
(2時間20分で終了)

測定範囲



2021/11/25

64

コンクリート表面の含水率

TRAMEXによる測定結果



水分率(%)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	4.1	3.8	4.1	4.0	3.9	3.9	4.0	3.9	4.1	4.1	3.9	4.0	3.8	3.9	3.9	3.8	3.8
2	4.1	4.0	4.1	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7
3	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	3.7	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.8
4	4.1	3.9	4.2	4.1	3.9	4.2	4.2	3.7	4.0	3.9	3.9	4.0	3.9	3.1	3.9	3.8	3.8
5	4.2	4.4	4.2	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.8	3.7	3.8	3.8	3.9	3.8
6	4.1	4.3	4.1	4.0	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.0	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9
7	4.1	4.0	4.1	4.2	4.0	4.1	4.1	3.8	3.8	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.8
8	4.4	4.2	4.3	4.4	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9
9	4.2	4.4	4.3	4.3	4.2	4.3	4.1	4.1	4.0	3.9	4.0	4.0	4.0	4.1	4.0	3.9	4.0
10	4.3	3.8	4.1	4.1	3.8	4.1	4.2	3.7	4.0	4.0	3.9	3.9	3.7	3.7	4.0	3.9	3.9

2021/11/25

単位: 6.5 4.5 3.5

65

端部は日射の影響を受ける箇所のためより乾燥が進んでいる。



2021/11/25

66

測定結果

簡易透気係数の測定結果 (簡易透気試験評価基準による可視化)



外側

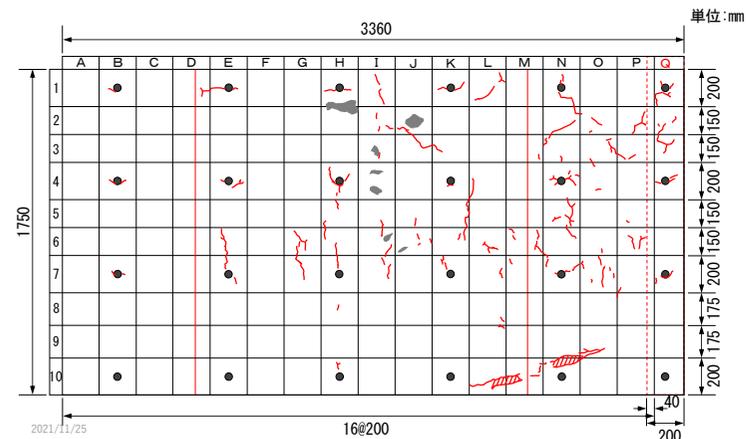
透気係数 (bPa/s)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	0.25	0.35	0.54	0.70	0.94	1.07	1.25	1.41	1.56	0.38	0.40	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
2	0.25	0.49	0.37	0.56	0.36	0.31	0.21	0.40	0.30	0.31	0.31	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
3	0.20	0.40	0.59	0.73	0.46	0.59	0.51	0.47	0.49	0.40	0.30	0.20	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
4	0.32	0.35	0.43	0.51	0.46	0.37	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
5	0.29	0.21	0.56	0.71	0.60	0.44	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
6	0.27	0.35	0.57	0.71	0.50	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
7	0.31	0.48	0.26	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
8	0.33	0.37	0.38	0.43	0.45	0.40	0.40	0.40	0.37	0.30	0.30	0.30	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
9	0.12	0.38	0.15	0.36	0.31	0.34	0.43	0.38	0.43	0.31	0.20	0.20	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30
10	0.41	0.29	0.37	0.27	0.25	0.12	0.22	0.32	0.14	0.21	0.20	0.20	0.20	0.07	0.40	0.30	0.30

2021/11/25

設定閾値 最小値 中間値 最大値

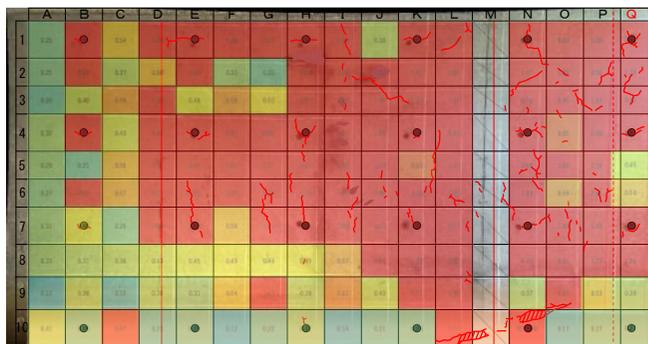
0.15 0.30 0.45

67



68

簡易透気試験の結果とひび割れトレースの重ね合わせ



2021/11/25

69

表層の微細ひび割れ



70

簡易透気試験結果（重点箇所）

簡易透気係数の測定結果（最大値最小値を上限とした場合の可視化）

透気係数 (mPa/s)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	0.35	1.54	0.54	1.25	1.54	1.82	1.25	0.91	2.88	0.38	2.50	3.33	ADNV/01	4.40	0.80	1.00	2.50
2	0.35	0.69	0.37	0.56	0.80	0.31	0.21	2.50	2.22	1.33	0.91	0.80	ADNV/01	1.67	1.82	2.50	1.18
3	0.30	0.40	0.59	1.33	0.48	0.59	0.51	1.67	1.43	2.88	2.50	1.25	ADNV/01	0.95	0.95	1.87	0.83
4	0.35	1.82	0.43	1.43	2.00	0.77	0.95	2.22	1.67	2.88	4.00	2.58	ADNV/01	1.40	0.65	1.00	1.67
5	0.29	0.23	0.56	0.71	0.95	0.83	1.11	1.25	1.82	1.18	0.65	1.43	ADNV/01	2.88	1.82	1.54	0.45
6	0.47	0.83	0.57	0.71	1.00	0.87	0.74	1.10	0.80	0.95	1.00	1.82	ADNV/01	1.33	0.99	2.88	0.56
7	0.31	0.48	0.35	0.40	1.82	0.56	1.54	0.95	2.88	0.83	1.67	0.87	ADNV/01	1.18	1.43	1.43	2.22
8	0.33	0.37	0.38	0.43	0.45	0.49	0.49	0.49	0.57	0.67	1.25	1.07	ADNV/01	0.77	0.91	0.77	1.25
9	0.10	0.38	0.15	0.36	0.31	0.54	1.43	0.38	0.61	0.43	0.71	4.00	ADNV/01	0.57	1.43	0.53	0.38
10	0.41	0.29	0.69	0.21	0.21	0.10	0.21	0.30	0.14	0.21	0.20	0.40	ADNV/01	0.41	0.41	0.27	0.27

2021/11/25

71

まとめ

- 透気係数は表層部10mm程度まで、透気試験はより深い位置までの空隙性状を評価しているため、目的に合わせて用いることが重要である。
- 透気試験と透水試験もコンクリートの水分率の影響を受け、水分率が低い条件では評価は悪く、逆に水分率が高い条件では評価はよくなることから、評価だけの判断には注意が必要である。
- コンクリートの水分率は湿度の影響と雨掛かりの影響を受けるため、置かれた環境条件によっては、表層品質評価結果に影響を与えるため、試験を行う際は十分留意する必要がある。
- 簡易透気試験を用いた実構造物の表層品質評価や維持管理における基礎情報としての新しい適用方法について紹介したが、今後は劣化進行との関係について研究を行っていく予定である。

2021/11/25

72