

### Slide 3

グラフの見方：

Fig. 15 は、凍害を受けたコンクリートの圧縮強度の低下率（横軸）と弾性係数の低下率（縦軸）の関係である。■と▲は実験データ，○はシミュレーション結果である。一般的に、圧縮強度と弾性係数には正の相関がある。凍害による損傷が激しいほど、多数のひび割れが入り、コンクリートが柔らかくなる（＝弾性係数が小さくなる）とともに、強度が低下するためである。逆に言えば、弾性係数がわかれば、圧縮強度をある程度、推定できることになる。これを応用したのが、超音波を用いた非破壊試験である。超音波の伝播速度から弾性係数を測定し、その低下率（相対動弾性係数という）を凍害による損傷度の指標とすることが多い。

Fig. 15 shows relationships between reduction ratio of compressive strength (lateral axis) and elastic modulus (vertical axis) of concrete deteriorated by frost damage. ■ and ▲ are experimental data, while ○ is simulation results. In general, there is a positive correlation between compressive strength and elastic modulus. It is because severer frost damage induces larger number of cracks, resulting softer (= smaller elastic modulus) and lesser strength of concrete. In other words, if elastic modulus is known, the compressive strength can be approximately predicted. The non-destructive test by using ultrasonic wave uses this relationship. Elastic modulus is measured from ultrasonic wave velocity and its reduction ratio so-called *relative dynamic modulus* is often used as an index for damage degree induced by frost damage.

Fig. 16 は Fig. 15 の引張バージョンで、引張強度と弾性係数にも正の相関がある。

Fig. 16 is a case in tension. There is also positive correlation between tensile strength and elastic modulus.

Fig. 17 は、凍害を受けたコンクリートの引張強度の低下率（横軸）と圧縮強度の低下率（縦軸）の関係である。この関係を見ると、引張強度の方が圧縮強度よりも大きく低下する傾向にあることがわかる。

Fig. 17 shows relationships between reduction ratio of tensile strength (lateral axis) and compressive strength (vertical axis) concrete deteriorated by frost damage. It can be seen that tensile strength is more affected by frost damage compared to compressive strength.

### Slide 5 and 6

スケーリングやポップアウトが起こるメカニズムについては諸説あるが、コンクリート中の水分や温度の分布が不均一であることや、そもそもコンクリート自体が骨材を含む不均一な材料であることが要因であると言われている。外気の温度変化や水分浸透の影響をより受けるのはコンクリートの表面に近い部分であるため、より大きな損傷を受ける表層が劣化し、剥離する。また、一般的に骨材はセメントペーストよりも吸水性が悪いので、表層から水分が浸透する際、粗骨材付近に水が溜まり、局所的に顕著な凍害が起こる。

There are various theories of the mechanism of scaling and pop out. One of the factors is ununiform distribution of temperature and moisture in concrete and heterogeneous material constituent of concrete which contains aggregates and cement paste. Since region near the outer surface is more affected by temperature change and water penetration, the surface concrete is more damaged and delamination occurs. In general, water absorption of aggregates is poorer than that of cement paste. Therefore, when water come from the outer surface, it is accumulated at the location of aggregates, resulting severer damage occurs around the aggregates locally.

#### Slide 7

隅角部（カドのこと）は、凍害による損傷が生じやすい。三次元的に見て、どの面からも温度変化と水分浸透の影響を受けるからである。下の写真のように、隅角部にひび割れが入ったり、剥離したりした状態をDクラックと言う。カドが欠けて、丸みを帯びた形状がDの字の曲線部のように見えるからである。（そう見えますか？個人的には、私はそうは見えない…）

Frost damage tends to significantly occur at corners. It is because, in three-dimensional space, all the three outer surfaces are affected by temperature change and water penetration. *D cracks* are the damage state when corners are cracked and/or spalled as shown in the lower pictures. It is derived from the fact that rounded corners look like the curved part of the letter “D”.

#### Slide 8

崩落事故のレポートが出ており、下記からダウンロードすることができる。

You can download a report of the bridge collapse accident below.

[http://cip.management.dal.ca/publications/report\\_eng%20concorde%20overpass%20montreal.pdf](http://cip.management.dal.ca/publications/report_eng%20concorde%20overpass%20montreal.pdf)

#### Slide 9

コンクリートは大小様々な空隙を含んでおり、そのような材料を多孔質材料という。小さい空隙ほど、中の水分が蒸発しにくいことが知られている。そのため、たとえ空気中でも、ある程度の相対湿度があれば、コンクリート中の水分は無くならない。また、大きい空隙中の水分から凍結することが知られている。このため、未凍結の水は小さい空隙に移動し、その際に圧力が発生する。エントレインドエアは、この水分移動により生じる圧力を低減する効果がある。

Concrete contains various types of voids from nano to macro scale and this kind of material is called *porous material*. It is known that liquid water in smaller voids is more difficult to

evaporate. Therefore, even concrete is put in air, if it has certain relative humidity, water in the concrete is not lost. In addition, it is known that water in larger voids is frozen in advance. Thus, unfrozen water moves to smaller voids and it generates internal pressure. Entrained air has an effect to reduce the internal pressure caused by the water movement.

#### Slide 13

Fig. 1 の見方：これは S-N 線図である（「6. 劣化要因と診断②」を復習すること）。FTC0, FTC50, FTC100, FTC300 は、それぞれ凍結融解を 0, 50, 100, 300 サイクル与えてから、疲労载荷を行った実験データである。凍結融解サイクルが多いほど、S-N 線図の直線の傾きが急になっており、疲労寿命が短くなることがわかる。

How to see Fig. 1?

This is a S-N diagram (see “Deterioration factor and assessment (2)”). FTC0, FTC50, FTC100 and FTC300 represents experimental data of fatigue loading test of concrete after 0, 50, 100 and 300 of freeze-thaw cycles. It can be seen that, with larger number of freeze-thaw cycles, slope of the S-N curves become steeper, indicating that the fatigue life becomes shorter. なお、コンクリートの凍結融解試験は JIS A 1148 等の基準があり、水中で凍結させ、そのまま水中で融解させる方法（A 法）と、気中で凍結させた後に水に浸漬し、水中で融解させる方法（B 法）の主に 2 種類がある。

There are standard freeze-thaw test methods for concrete such as JIS A 1148. The two major methods are, (1) frozen in water and thawed in water (Method A), and (2) frozen in air and thawed in water (Method B).