

東北地方において施工されるボックスカルバートを対象とした、ひび割れ誘発目地間隔と温度ひび割れ指数の関係について

東北学院大学 学生会員 ○熊谷貴士
 東北学院大学 正会員 石川雅美
 日本大学 正会員 子田康弘
 日本大学 正会員 岩城一郎

1. はじめに

壁状構造物における温度ひび割れ対策として、ひび割れ誘発目地の施工はきわめて有効である。しかしながら、実際の工事に際して、ひび割れ誘発目地間隔をどの程度とするかについては、具体的な指標はなく、その都度、CP法等により解析を実施して、設計を行っているのが現状である。本研究では、東北地方において施工する標準的な断面のボックスカルバートを対象に、解析を実施しなくとも、壁厚、施工場所と施工時期をパラメータとして、簡易的に誘発目地間隔とひび割れ指数の関係を求めることのできる指標を作成した。

2. 解析モデル及び解析条件

ASTEA-MACS V4. (RCCM 社) を用いて 3次元有限要素法による温度応力解析を行った。解析モデルは、国土交通省の函渠の設計標準を参考とした壁厚 800mm のボックスカルバートと、JR 東日本の標準的な壁厚 1200mm の断面を有するボックスカルバート(図-2.1)である。両者ともに長さ方向は 30m とした。解析モデルは対称性を考慮し、ボックスカルバートの 4 分の 1 部分(長さ 15m)とした。

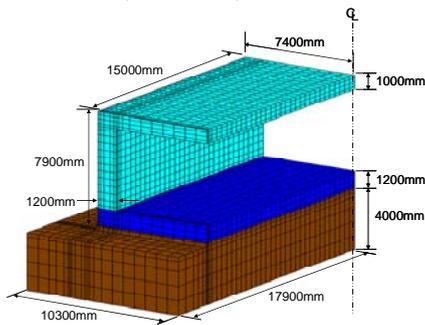


図-2.1 解析モデル(壁厚 1200mm)

解析地点は東北 6 県の県庁所在地とした。打設時期は 2 月、5 月、8 月、11 月とし、解析期間として 5、8 月は 8 ヶ月間行い、2 月、11 月では 1 年間解析を行った。打設工程として、底版の打込みを解析対象月の 1 日とし、次に側壁および頂版の打込みをその月の 15 日とした。また、ひび割れ誘発目地間隔は両モデルともに、30m (目地なし)、15m 間隔、7.5m 間隔、5m 間隔の 4 つの場合とした。以上より、解析ケースは全部で 6(解析地点)×4(打設時期)×2(壁厚)×4(目地間隔)=192 である。

コンクリートの圧縮強度は、最も一般的に用いられる設計基準強度 24N/mm^2 のものを仮定した。セメントの種類は高炉 B 種とした。

誘発目地部の断面欠損率は田附らの報告¹⁾を参考に 40%となるように、解析モデルの誘発目地部のコンクリートの引張強度を 40%低減した。したがって、材齢 91 日の引張強度は一般部のコンクリートで 2.3N/mm^2 であるのに対して、誘発目地部では 1.4N/mm^2 である。

引張強度以外のコンクリートならびに誘発目地の物性値は、コンクリートの一般的な値とし、表-2.1 に示す。

表-2.1 コンクリートの物性値

圧縮強度式	$f_{ck} = [t / (6.2 + 0.93t)] \cdot f_{ck}(91)$
引張強度式	$0.44 \sqrt{f_{ck}}$
ヤング係数式	$4700 \sqrt{f_{ck}}$
熱伝導率	$2.6 (\text{W/m} \cdot \text{°C})$
密度	$2300 (\text{kg/m}^3)$
比熱	$1.1 (\text{kJ/kg} \cdot \text{°C})$
線膨張係数	$10 \times 10^{-6} (/ \text{°C})$
ポアソン比	0.18

コンクリートの打込み温度は寒冷期での環境を考慮して打設時期の気温 $+6\text{°C}$ とした。ただし、打込み温度が 30°C を超える場合は打込み温度を 30°C とした。コンクリート打設直前の地盤の温度分布は地表面では外気温と等しくし、最下端(地表面より深さ 4m の位置)は各都市の年平均気温とし、地表面と地盤最下端とを線形補間した。なお、最下端は固定温度境界である。各解析地点の外気温を図-2.1 に示す。

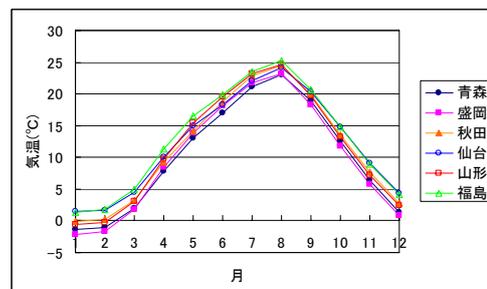


図-2.2 各都市の外気温

3. 解析結果

ひび割れ指数を算出する解析モデル上での着目点を図-3.1に示す。壁厚 1200mm のモデルの場合、側壁中央下から 1350mm のところである。側壁長手方向の位置としては、対称軸の位置からそれぞれ、1) 目地なしの場合では 0mm(対称面)、2) 目地間隔 15m の場合対称面より 7250mm、3) 目地間隔 7.5m の場合同じく 3250mm、4) 目地間隔 5m の場合 2250mm である。

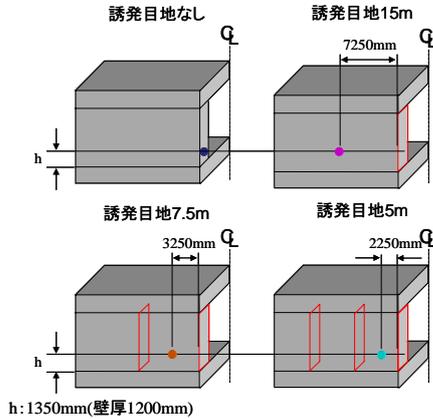


図-3.1 解析点

解析地点を仙台、壁厚 1200mm、8 月打設としたひび割れ指数の履歴を図-3.4 に示す。また、同解析パラメータでのひび割れ発生確率を図-3.3 に示す。

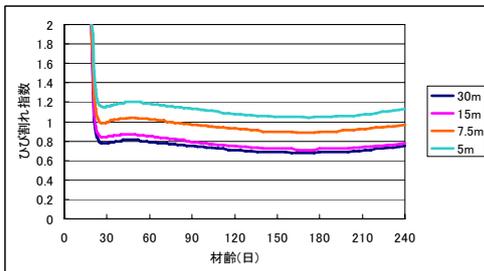


図-3.2 ひび割れ指数履歴

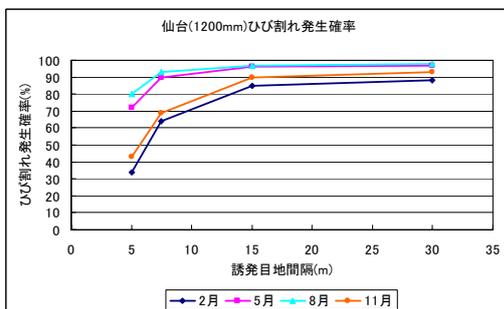


図-3.3 ひび割れ発生確率

4. 近似式の提案

壁厚、施工場所および施工時期をパラメータとし、誘発目地とひび割れ指数の関係を求める簡易式を提案する。まず、ひび割れ指数を算出する近似式として以下の式(3)を用いることとする。

$$I_{cr} = A \sin \left\{ \frac{2\pi(x - N_0)}{12} \right\} + \overline{I_{cr}} \quad (1)$$

ここで x は打設月、 N_0 は I_{cr} が平均となる月、および $\overline{I_{cr}}$ は I_{cr} の平均である。ここに、

$$A = (a_1 B + a_2) \cdot \ln(T) + (b_1 B + b_2) \quad (2)$$

$$\overline{I_{cr}} = (c_1 B + c_2) \cdot T^{(d_1 B + d_2)} \quad (3)$$

$$N_0 = e_1 B + e_2 \quad (4)$$

T : 誘発目地間隔(m)

B : 壁厚(mm)

$a_1, a_2, b_1, \dots, e_2$: 解析地点での係数

表-4.1 に解析地点での係数 $a_1, a_2, b_1, \dots, e_2$ を示す。また、図-4.1 に解析地点仙台、壁厚 1200mm での式(1)と、解析結果との比較を示す。

表-4.1 係数一覧表

	青森	盛岡	秋田	仙台	山形	福島
a_1	0.95×10^{-4}	0.44×10^{-4}	1.79×10^{-4}	1.44×10^{-4}	0.73×10^{-4}	0.46×10^{-4}
a_2	-0.142	-0.08	-0.253	-0.188	-0.126	-0.083
b_1	-6.3×10^{-4}	-5.13×10^{-4}	-8.47×10^{-4}	-6.26×10^{-4}	-5.89×10^{-4}	-3.25×10^{-4}
b_2	1.02	0.9	1.32	0.96	1.01	0.61
c_1	-12×10^{-4}	-4.56×10^{-4}	-8.8×10^{-4}	-3.42×10^{-4}	-10.83×10^{-4}	-0.35×10^{-4}
c_2	3.4	2.49	2.89	2.05	3.24	1.49
d_1	-0.76×10^{-4}	-1.83×10^{-4}	-0.85×10^{-4}	-1.37×10^{-4}	-0.89×10^{-4}	-1.88×10^{-4}
d_2	-0.132	-0.0141	-0.127	-0.056	-0.1164	-0.005
e_1	8.06×10^{-4}	4.88×10^{-4}	8.12×10^{-4}	8×10^{-4}	7.44×10^{-4}	5.56×10^{-4}
e_2	-2.51	-2.4	-2.7	-3.02	-2.5	-3.2

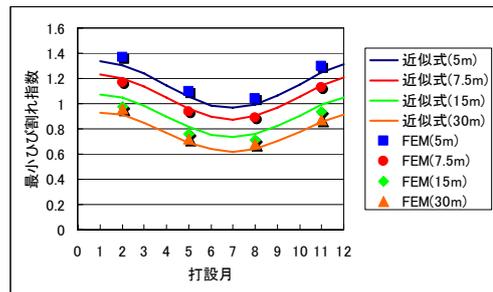


図-4.1 近似式と解析結果の比較

5. まとめ

図-3.2、図-3.3 および図-3.4 より解析地点、壁厚、打設時期が同じ場合コンクリートの温度は目地間隔による差はない。応力履歴はひび割れの発生により応力が解放されるため、誘発目地を多く設けたモデルでは応力が小さくなる。したがってひび割れ指数も、誘発目地を多く設けた順にひび割れ指数は大きくなった。

図-4.1 より、この近似式で FEM の結果を概ね補間できているものと思われる。その他の都市、および壁厚 800mm の場合も図-4.1 とほぼ同様の精度で近似できていることを確認した。

参考文献

- 1) 田附伸一, 石橋忠良, 古山章一, 大庭光尚
ボックスラーメン構造物における温度ひび割れの制御方法に関する調査、研究
土木学会論文集 No.739/V-60,265-272,2003.8