

岐阜大学工業短期大学部 正〇森 本博昭

(株) 鴻池組

飼鳥 誠一

1. まえがき

コンクリート構造物のコンクリート打設後の温度変化を定量的に把握することは、温度ひびわれに対する対策を検討する上で重要である。コンクリート中の温度変化を推定するにはコンクリートにおける伝熱問題を解けばよく、その解法としては一般に差分法、有限要素法あるいは重み付き残差法などが用いられている。しかし、解析にあたり、コンクリートおよび地盤の熱特性と境界条件、特に熱伝達率のとりあつかいについての総括的な議論はなお不足しているのが現状であり、今回これらの議論の資料を得るための現場実験を行なったので、その一部を報告するとともに伝熱解析上の問題点、特にコンクリートおよび地盤の熱特性と境界条件のとりあつかいについて考察する。

2. 実験概要と測定結果

今回、実験対象とした橋脚フーチングは愛知県知立市工重原高架橋下部工工事におけるもので、フーチングの形状寸法と鋼筋コンスタンタン熱電対埋設位置を図-1に示す。測定は1980年1月14日～2月8日にわたり実施した。測定結果と日平均気温と風速を表-1に示す。またコンクリートの配合と骨材の岩質を表-2に示す。コンクリート打設時の使用型枠は12mm厚のベニヤ合板であった。なお測候所64、66の打設後8日以降にみられる温度の再上昇は柱部打設(1月22日)の影響がかなり含まれておりものと思われる。

3. コンクリートおよび地盤の熱特性と境界条件のとりあつかい

伝熱解析を行なうにあたりコンクリートおよび地盤の熱特性と境界条件を決定しておく必要がある。以下にこれらを決定するにあたっての留意点、問題点などについて考察する。

(a) コンクリートの熱伝導率、比熱、発熱量：コンクリートの熱伝導率に比較的大きな影響を与えるものは骨材の量および岩質、含水量(乾燥程度)などであるが含水量については水和熱による熱応力が問題となる期間はこの影響を無視しても大きなまちがいはないものと思われる。以上の事より熱伝導率は実験により決定するのが最もであるがそれが不可能な場合は過去の実験データのうち使用骨材の量と質が最も似ていた配合の測定値を採用するのがよいと思われる。また比較的時間の容易な熱拡散率から間接的に求めるのも一法である。

次に比熱については考慮すべき因子は含水量を上記の理由で無視できるとしてその他に温度が上げられる。一般に温度が10℃上昇すると約0.002 Kcal/kgと増大すると考えられている。従って過去のいくつかの測定値が $T=30^{\circ}\text{C}$ において $C=0.27\sim0.30$ Kcal/kgと程度であるのでたとえば $C=0.002T+0.217$ (Kcal/kg) とし非線形伝熱解析を行なうか、あるいは近似的に $C=0.28$ (一定) とし線形解析を行なえばよい。しかし比熱と温度の関係として解析を行なうことは後述するようにそのメリットは比較的少ない。コンクリートの発熱量を与える実験式は各種提案されているが解析にあたってはそれらの内の適当なものを採用すればよい。

(b) 地盤の熱伝導率、比熱、密度：熱伝導率は0.45(土壌)～1.1(粘土) Kcal/mhr, 比熱は0.44(土壌)～0.21(粘土) Kcal/kg, 密度は2000(土壌)～1400(粘土) kg/m³ の範囲内で決定すればよいと思われる。

(c) 境界条件：大気あるいは型枠に接する境界は自由境界面として境界条件式が設定されるが、式中の熱伝達率については過去の研究成果を参照する必要がある。しかし風速の影響については不明な点も多いので現状では一定の岩屋外としたのが無難であると考えられる。一方地中における境界面は一般に固定境界面としてとりあつかわれるが、その際の固定温度については、その地中の年間平均気温±2℃(夏期は+、冬期は-)とし、また解析にあたっての地中初期温度は地中温度が直線あるいは概ね線的に変化するものと仮定して設定しても大きなまちがいはないものと思われる。

4. 数値解析結果

前述の方針のもとに橋脚フーチングの熱解析を行なった。解析法は有限要素法を適用し、要素は三次元要素（八角柱六面体）を採用したが、入力カデーター作成の都合により、ここでは図-2のよう橋脚フーチング中央部を四角柱状に切り出し、上面を自由境界面、下面（地中）を固定境界面とし各側面は断熱境界面とみなし一次元的な解析を行なった結果について報告する。解析は比熱と定数とした場合と温度の関数とした場合の二ケースについて行なった。比熱と温度の関数とした場合の解析は直井及俊法によった。コンクリートおよび地盤の熱的性質と熱伝達率は前述の方針のもとで表-3のよう決定した。計算結果とフーチング中央部付近における測定結果（No.1~No.5）をあわせて図-3に示す。これらの結果から明らかのようにNo.4測長付近を除けば計算結果の推定精度はかなり良好である。また、比熱のとりあつかいによる影響はかなり小さく実用的には比熱を定数としてとりあつかってもよいことがわかる。測長No.4付近における推定精度の低下は、解析次元の粗さの問題があり、三次元解析を行えばかなり改善されるものと思われる。表-1 測定結果

表-2 コンクリートの配合

粗骨材 最大粒径 (mm)	スラ フ (cm)	空気 量 (%)	水セ メント 比	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m³)			
					水	セメント	細骨材 (チャート)	粗骨材 (砂質チャート)
25	8	4	58.7	64.9	162	276	813	1027

図-2 解析系

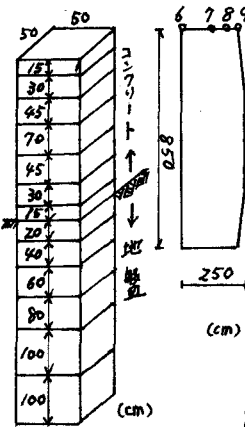


図-1 橋脚フーチング

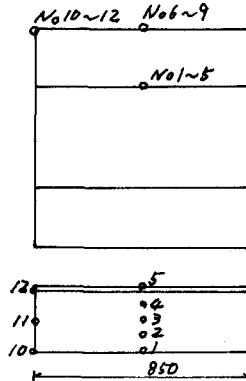
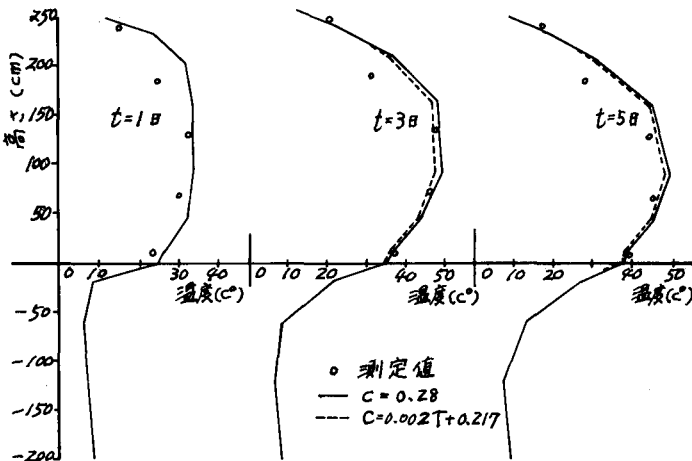


図-3 解析結果



月・日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1/14	5.4	3.6	13	15	15	13	11	13	13	11	12	11
15	2.5	4.3	23	30	32.5	24.5	15	17	24	22.5	19.5	18.5
16	2.5	4.3	31	42	45	29.5	16.5	19	29	26	24	16.5
17	2.9	5.6	36.5	45.5	47	30.5	19.5	21	29	27	25	16
18	2	0	38.5	46	46	29	17	19	23.5	21	22	14
19	1.4	0	39	45	44	27.5	17.5	19.5	17.5	18	11	11.5
20	2.3	2.6	39	43	41.5	27	19	17	18.5	16.5	15	12
21	5.5	1	39	42	39.5	26	18	16	16	14	13.5	11
22	3.3	2.6	38	40	38	24	16.5	14.5	14	12	10	9
23	2.3	4.3	37	38	35	25	24.5	14	12	10	9	9.5
24	7.5	5.3	36	36.5	34	26.5	23.5	14	13	11	10	10
25	5.5	6	35	35	32.5	27.5	24.5	13	11.5	10	8	10
26	6.5	5	32.5	32.5	30.5	27.5	24	12.5	11	10	8	10
27	2.5	7	32.5	32.5	30.5	26.5	22	12.5	11	9.5	8.5	9
28	9.3	4	32	32	29.5	26	23	14	14	13	12	10.5
29	12.3	8.6	30.5	30.5	28.5	25.5	22.5	14.5	15	14.5	14.5	11
30	11.1	0	30	30	28	25	22	15	15	15	15	12
31	3.5	9.6	29	28.5	27	23	18	12	11	10	10	12
2/1	2.5	10.6	28	28	26	20.5	15	9	9	8	7	11.5
2	4	4.6	27.5	27	25	19	14.5	10	9	8	7	11.5
3	1.5	6.6	27	26	24	18	14	9.5	8.5	8	7.5	11
4	2.5	4	26	25	23	17.5	14	10	9	8	7.5	10.5
5	5	9.3	25	24	22	17	14	10	9.5	9	11	8
6	0.3	4.3	24.5	23	21	15.5	11.5	8	7	6	5.5	10.5
7	3.1	2.6	24	23.5	20	15	11.5	9.5	7	6.5	6	10.5
8	3.1	2.6	23.5	22	19.5	14	11	9.5	6.5	5.5	4.5	10

表-3 数値解析計算因子

コンクリート初期温度	11 °C
地中固定境界温度	12.7 °C
地盤の熱伝達率	0.77 Kcal/m²-h-°C
地盤の比熱	0.33 Kcal/kg-°C
コンクリートの熱伝達率	2.12 Kcal/m²-h-°C
コンクリートの比熱	0.28 or 0.002T+0.217 Kcal/kg-°C
熱伝達率	15 Kcal/m²-h-°C
コンクリートの発熱量	24086(1-e ^{-0.0288t}) Kcal/m³
地盤の密度	1730 kg/m³