

カード型温度タグのコンクリート中での基本性能確認

維持管理工学研究室 古澤 大地

1. 背景と研究目的

今日、コンクリートの養生温度に基づくコンクリート状態の評価は広く行われている。実際にコンクリート温度をセンシングするには、熱電対をコンクリートに内蔵し、コンクリート外の装置とコードでつなぐことで温度を取得することが多い。しかし、施工管理の効率化・省力化、現場の生産性向上の観点から ICT や DX が推進されている。

そこで本研究は、無線で使用できる温度センシングデバイス（以下、温度タグ）を使用し、コンクリート温度を測温できる条件や測温によりコンクリート状態の評価が行えるかを検討することを目的とする。

2. 実験概要

温度タグとリーダライタ（写真-1）との通信性能、温度タグ自体の耐久性を確認するための試験を行った。

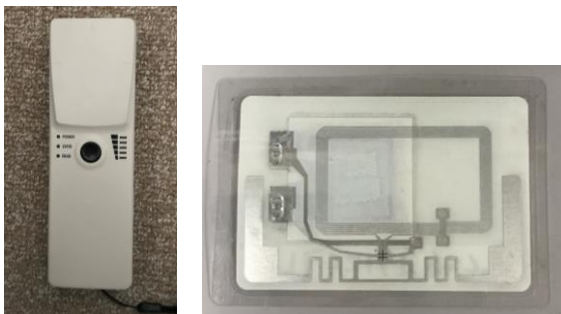


写真-1 左：リーダライタ 右：温度タグ

2.1 鉄筋の影響

温度タグとリーダライタ間に鉄筋を配置し、通信性能に変化があるのかを確認する試験を行った（図-1）。

実験要因は、①鉄筋と温度タグの距離（ h_1 ）、②リーダライタと鉄筋の距離（ h_2 ）、③鉄筋間隔（ l ）、④鉄筋径（ d ）、である。

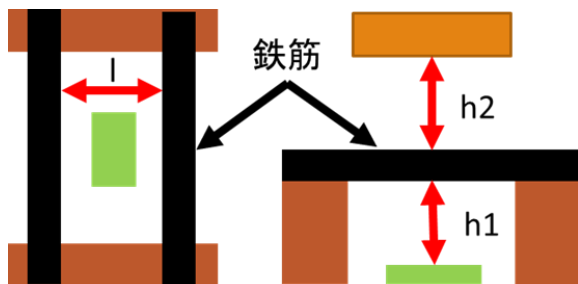


図-1 試験概略図

2.2 コンクリート埋設の影響

2.2.1 供試体概要

供試体は、20×30×40cm であり、温度タグを打設面から 3、6、10cm の位置に埋設した（図-2）。打設後 1 週間は室内に配置し、その後、20°C 恒温室で湿布養生を行った。

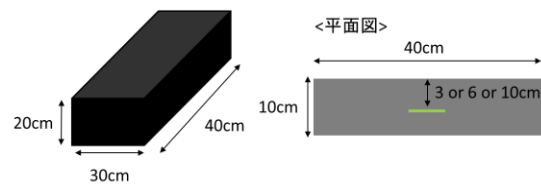


図-2 供試体概要

2.2.2 通信性能の確認

打設直後から打設後 30 日までの間で数回にわたり、温度取得ができるか、温度取得範囲に変化があるかの確認を行った。また同時に表面水率の測定も行った。

2.3 積算温度と圧縮強度の関係

水中養生（①20°C 恒温室、②高温室、③暴露試験）あるいは蒸気養生を行ったコンクリートに埋設した温度タグから得られた温度から式（1）より相当材齢の積算温度を求め、圧縮強度試験より得られた圧縮強度との関係も式（2）を参考に考察した。

$$M = \sum(\theta_i + A) \Delta t_i \quad (1)^1$$

M : 積算温度 (°C・日)、 θ_i : i 番目のコンクリート温度 (°C)、 A : 定数（一般的に 10）、 Δt_i : 測定間隔 (日)

$$\text{圧縮強度} = a \log_{10}(M) + b \quad (2)^2$$

a 、 b : 実験定数（配合や材料によって変化）

水中養生と蒸気養生の供試体は共に、直径 10cm、高さ 20cm であり、温度タグを中心に埋設した（図-3）。なお、蒸気養生を行った供試体では、温度タグから得られる温度データの正確性を確認するために、熱電対も埋設した。

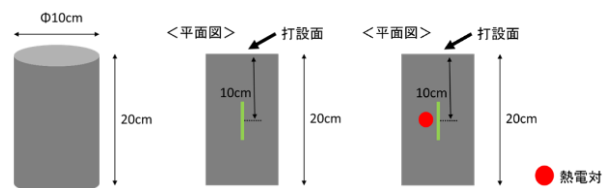


図-3 供試体概要 (左：水中養生 右：蒸気養生)

3. 実験結果と考察

3.1 鉄筋の影響

温度タグとリーダライタ間に鉄筋が存在することで、通信成功率が下がることが分かった。特に、温度タグ・鉄筋・リーダライタの三者が直線状に並ぶと通信が困難になりやすい。また、鉄筋径が大きくなるにつれ、温度を取得できるようにするには、鉄筋間隔を大きくする必要があったことが分かった。

3.2 コンクリート埋設の影響

3.2.1 温度取得の可否

コンクリート打設直後は、どの供試体も温度取得できなかったが、材齢1日以降、埋設深さ3、6cmでは温度取得可能であった。埋設深さ10cmは温度取得不可能であった。また、同時に表面水率も測定したが、表面水率が変化することで温度取得の可否が変化することはなかった。

3.2.2 温度取得可能範囲の変化

埋設深さが深くなるにつれ、温度取得可能範囲が狭くなること分かった(写真-2)。また、時間経過により温度取得可能範囲が広がる傾向はあまり見られなと分かった。



※ 白：打設2日後 緑：4日 黄：6日
青：9日、それ以降は新ポイントなし

写真-2 温度取得可能範囲

3.3 積算温度と圧縮強度の関係

材齢7、14、30日での水中養生(20°C恒温室、機械室(室内暴露試験)、高温室)と材齢1、3、7日での蒸気養生を行った供試体に圧縮強度試験を実施した。また、圧縮強度試験時の材齢に相当する積算温度も求め、その関係を図-4に示す。

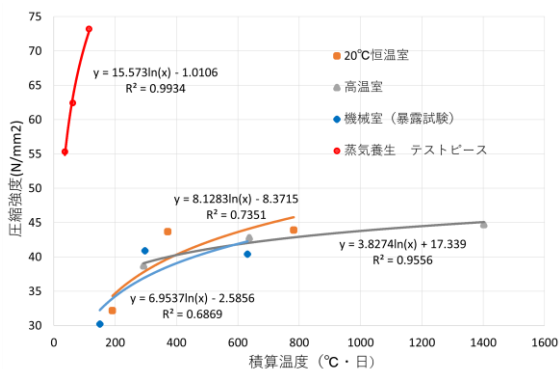


図-4 積算温度と圧縮強度の関係図

図-4の近似曲線・R²値より、蒸気養生や高温室など温度が高い環境であれば、積算温度と圧縮強度には強い関係性があることが分かったが、温度が低い環境になるほど、R²値が低くなり、高い相関関係は見られなかった。

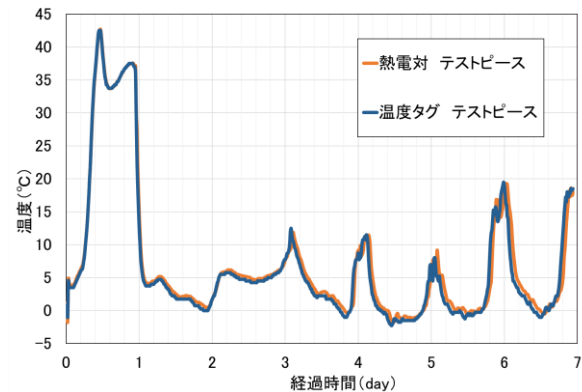


図-5 蒸気養生をした供試体の温度データ

また図-5には、蒸気養生を行った供試体の温度を熱電対と温度タグで計測した結果を示す。この図から、両方法から得られた温度データはおおむね一致していることがわかる。よって、温度タグより得られる温度データの正確性が確認できた。

4. 結論

- ① 鉄筋が存在することで、温度タグとリーダライタとの通信が困難になる。
- ② コンクリート中に温度タグを埋設した場合、コンクリートがない場合に比べて通信可能領域が狭まる。なお、埋設深さが深くなるほど、より温度取得が困難となる。
- ③ コンクリート含水率の変化が温度取得の可否に影響を与えることはない。
- ④ 積算温度と圧縮強度には、温度が高い環境であれば、強い関係性があることが分かった。
- ⑤ 既存の測温機器である熱電対と温度タグの温度データはおおむね一致しており、温度タグから得られる温度データの正確性が確認できた。

参考文献

- 1) 野々村佳哲、島多昭典、嶋田久俊、吉田行：耐寒促進剤を使用したコンクリートの積算温度に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No1、2016
- 2) 佐藤周之、服部九二雄、緒方英彦、高田龍一：マチュリティー法によるマスコンクリート供試体の非破壊強度推定、農業土木学会論文集、Trans. of JSISRE No.201.pp.67~72、1999.6