

フィッティング解析によるフライアッシュコンクリートの 温度応力解析時の温度条件の設定について

(株)熊谷組 正会員 ○三國 智温 非会員 後藤 仁
正会員 西内 美宣 正会員 緒方 明彦
中国電力(株) 正会員 重川 善信

1. はじめに

石炭貯蔵設備建設工事において、環境負荷低減のため、フライアッシュコンクリートを使用している。石炭貯蔵設備は図1に示す形状で、筒体部の外壁を対象とした温度応力解析を行うこととした。

使用するコンクリートは特殊配合であるため、事前に①断熱温度上昇特性について試験値と標準値の比較、②底版部コンクリートの温度計測値に対するフィッティング解析による温度条件の設定を行った。①、②で得られた知見を用いて、筒体部外壁の温度応力解析を行い、温度応力ひび割れ対策工を実施したので、その結果について述べる。

2. 断熱温度上昇特性の試験値と標準値の比較

表1に示す筒体部のコンクリート配合で断熱温度上昇試験を行った。得られた断熱温度上昇特性を式(1)に示す。さらに、コンクリート標準示方書【設計編】に示される「実測値が得られない場合に使用できる標準値」¹⁾を式(2)に示す。

$$Q(t) = 42.11(1 - \text{Exp}(-0.88t)) \quad \text{式(1)}$$

$$Q(t) = Q_{\infty}(C, T_a) \cdot (1 - \text{Exp}(-\gamma(C, T_a) \cdot t)) \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $Q(t)$ は断熱温度上昇量(°C)、 t は材齢(日)、 Q_{∞} と γ はそれぞれ終局断熱温度上昇量(°C)と温度上昇速度に関する定数で、それぞれ C (セメント量, kg/m^3 、フライアッシュセメントB種)と T_a (打設温度, °C, フライアッシュセメントB種)の関数である。

式(2)において C をセメント量の $268\text{kg}/\text{m}^3$ とした場合と結合材量($C+FA$)の $335\text{kg}/\text{m}^3$ とした場合の標準値を図2に示す。本配合では、 C をセメント量とした場合において、終局断熱温度上昇量が試験結果より若干低くなるものの試験結果をある程度推定可能と考えられる。

3. コンクリート温度の実測値と解析値の比較

2章で推定した断熱温度上昇特性の妥当性を検証

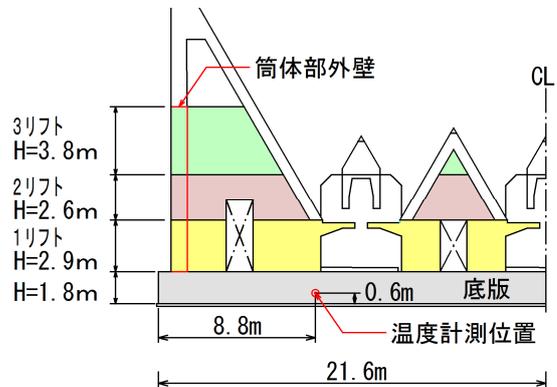


図1 石炭貯蔵設備 断面図

表1 コンクリートの配合(筒体部)

| 水 W (kg/m^3) | セメント C (kg/m^3) | フライアッシュ FA (kg/m^3) | 水セメント比 W/C (%) |
|--------------------------------------|---|---|----------------------|
| 174 | 268 | 67 | 64.9 |

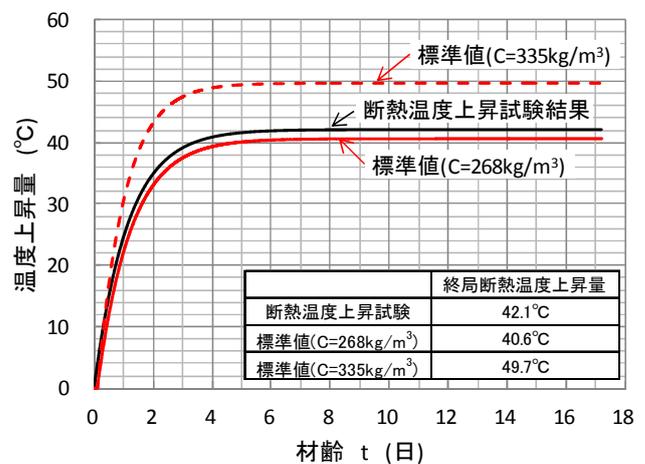


図2 断熱温度上昇特性の標準値と試験結果の比較

するために、底版部コンクリートで実測値と解析値の比較を行った。底版部は筒体部と配合が異なるため、2章の結果から、断熱温度上昇特性を標準値($C=273\text{kg}/\text{m}^3$:セメントのみ)で推定し、解析した。

計測内容はコンクリート温度(3か所)と外気温で、コンクリート温度計測位置の代表箇所を図1に示す。コンクリート温度の実測値と解析値を図3に示す。

実測値と解析値には最高温度で約 8℃程度の差が見られた。この差異には以下の二つの要因が関係しているものと考えられる。①コンクリート打設温度について、解析には、現地の荷卸し時の温度(21℃)を使用した。実際の打設作業は一日におよぶため、日中の打設温度の変化が実測値と解析値の温度差に繋がったと考えられる。②外気温について、計測は直射日光の当たらない環境で行ったが、実際にコンクリートは日光に暴露される環境にあり、打設位置周辺は外気温計測位置以上に高い温度であったと考えられる。

4. フィッティング解析による新たな温度条件の検討

底版部の実測値と解析値には温度条件の差が一因と考えられるか離が見られたため、温度条件(打設温度と外気温)を変数としたフィッティング解析を行った。その結果を図3に示す。通常温度応力解析の際には、打設温度は平年値+5℃、外気温は平年値としているが、本フィッティング解析においては、打設温度を日最高気温(実測値)、外気温を平年値+1℃としたところ、フィッティング解析値の最高温度が 58.6℃となり、実測値(最高温度 59.5℃程度)を概ね再現することができた。

以上より、本工事における温度応力解析時の温度条件として、打設温度は日最高気温、外気温は平年値+1℃と設定することとした。

5. 筒体部コンクリートへの適用

フィッティング解析により設定した温度条件を用いて、筒体部外壁の温度応力解析を行った。なお、コンクリート打設温度については予測解析であることから、解析値が安全側となるようにコンクリート荷卸し時の上限温度である 35℃とした。

温度応力解析の結果、温度応力ひび割れ対策工として、ひび割れ誘発目地を約 3.5m 間隔で設置することで最小ひび割れ指数が 1.0 を上回り、ひび割れ発生確率が 50%以上となる結果が得られたため、ひび割れ誘発目地の設置による対策工を実施した。その結果、現在まで有害なひび割れは発生していない。ひび割れ誘発目地による対策工を行い施工している石炭貯蔵設備を図4に示す。

6. まとめ

フライアッシュコンクリートにおいて、断熱温度上昇試験結果と標準値の比較、コンクリート温度の

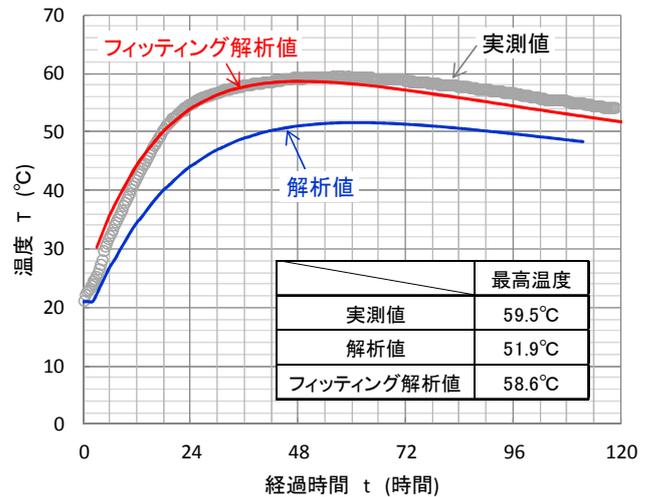


図3 コンクリート温度の比較



図4 石炭貯蔵設備の施工状況

実測値と解析値の比較とフィッティング解析による温度条件の設定、さらに、その結果を適用した温度応力解析を行い温度応力ひび割れ対策工を実施した。1)今回使用したフライアッシュコンクリートの配合では、断熱温度上昇試験結果を標準値で推定する場合、C をセメント量とすることである程度推定できると考えられる。

2)本工事においてはコンクリート打設温度を日最高気温、外気温を平年値+1℃とすることでコンクリート温度の実測値をフィッティング解析で概ね再現することができた。

3)フィッティング解析で設定した温度条件を適用した温度応力解析を行い、その結果より得られた対策として、約 3.5m 間隔でひび割れ誘発目地を設置して施工を行ったところ、打設後 9 か月経過した現在においても、温度応力に起因するとみられるひび割れは確認されていない。

参考文献 1)土木学会, 2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, pp332-336, 2018.