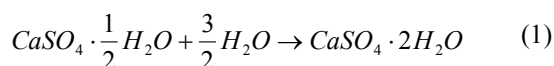


廃石膏ボード由来再生石膏を添加・混合した 安定処理土の含水比推定式について

明石工業高等専門学校 正会員 ○佐野 博昭 福井工業高等専門学校 正会員 山田 幹雄
大分工業高等専門学校 学生会員 利光 凌

1. まえがき

廃石膏ボードから再生された二水石膏を焼成すると半水石膏や無水石膏が生成され、これらが水と接触すると半水石膏から二水石膏、あるいは無水石膏から半水石膏を経て二水石膏へと形態が変化するとき吸水や固化作用が生じる¹⁾。このため、土試料に二水石膏、半水石膏、無水石膏を添加・混合すると土粒子部分の相対的な質量が増加し、結果として含水比が低下するが、それ以外に、次式(1)、(2)に示すように、半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ が二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ になる時点で土中の水 $3/2\text{H}_2\text{O}$ を、無水石膏 CaSO_4 が半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ を経て二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ になる時点で $2\text{H}_2\text{O}$ を取り込むことによる含水比の低下も生じていると考えられる。



これより、含水比の高い土に石膏安定処理を施すことによって、石灰安定処理、中でも生石灰による安定処理と同様に含水比を低下²⁾させることが可能となる。

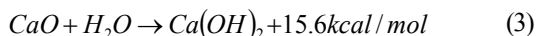
本研究では、廃石膏ボード由来再生二水石膏、半水石膏、無水石膏の添加・混合にともなう含水比の低減効果を定量的に評価するために、石灰安定処理に関する既存の知見²⁾を参考にして石膏安定処理土の含水比推定式を提案した。

2. 石膏安定処理土の含水比推定式の構築

以下では、石膏を安定材として利用するにあたって、二水石膏、半水石膏、無水石膏を添加・混合したときの含水比の低減効果を定量的に評価するための式を石灰安定処理に関する既存の知見²⁾を参考にして構築する。なお、以下の計算においては、水和物の生成にともなう水の影響は考慮に入れない。

(1)生石灰を添加した場合

生石灰（酸化カルシウム、 CaO ）は、水と反応すると次式(3)に示すように発熱して水酸化カルシウム Ca(OH)_2 を生成する¹⁾。



ここで、 $\text{Ca}=40.078$ 、 $\text{O}=15.9994$ 、 $\text{H}=1.00794$ より、 $\text{CaO}=56.0774$ 、 $\text{H}_2\text{O}=18.01528$ 、 $\text{Ca(OH)}_2=74.09268$ となる。

式 (3) より、 CaO : 1g に対して H_2O :

$18.01528/56.0774=0.32\text{g}$ が吸水され、 Ca(OH)_2 : $74.09268/56.0774=1.32\text{g}$ が生成される。さらに、発熱にともなう蒸発効果として CaO : 1g に対して 45%の水、すなわち 0.45g が失われる。

上記の反応を基にして、含水比 w_0 の試料土（土粒子の質量 m_s 、土中に含まれている水の質量 m_w ）に対して添加率 d で生石灰を添加・混合すると、生石灰の消化吸水により生石灰質量 $dm_s/100$ の 32%に相当する $0.32dm_s/100$ の水、さらに蒸発効果により 45%に相当する $0.45dm_s/100$ の水、両者を合わせると合計 77%に相当する $0.77dm_s/100$ の水が失われる。また、生石灰質量の 1.32 倍、すなわち $1.32dm_s/100$ の消石灰が生成される。ここで、添加率 d は、試料の炉乾燥質量に対する安定材の質量比を百分率で表したものである。

生石灰を添加・混合した後の含水比 w_1 は次式(4)によって求められる²⁾。

$$w_1 = \frac{m_w - 0.32 \frac{dm_s}{100} - 0.45 \frac{dm_s}{100}}{m_s + 1.32 \frac{dm_s}{100}} \times 100 = \frac{w_0 - 0.77d}{1 + 1.32 \frac{d}{100}} \quad (4)$$

(2)二水石膏を添加した場合

含水比 w_0 の試料土に対して二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を添加率 d で添加・混合しても、二水石膏は形態の変化を生じない。しかしながら、土粒子の質量 m_s に対して二水石膏の質量 $dm_s/100$ が増加し、含水比が低下する。

二水石膏を添加・混合した後の含水比 w_1 は次式(5)によって求められる。

$$w_1 = \frac{m_w}{m_s + \frac{dm_s}{100}} \times 100 = \frac{\frac{m_w}{m_s} \times 100}{1 + \frac{d}{100}} = \frac{w_0}{1 + \frac{d}{100}} \quad (5)$$

(3)半水石膏を添加した場合

生石灰と同様の考え方により、試料に半水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ を添加・混合すると、前出式(1)に示したように半水石膏は土中の水 $3/2\text{H}_2\text{O}$ を吸水し、二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ となり、含水比を低下させる¹⁾。

ここで、 $\text{S}=32.065$ より、 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}=145.14824$ 、 $3/2\text{H}_2\text{O}=27.02292$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}=172.17116$ となる。

前出式(1)より、 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$: 1g に対して $3/2\text{H}_2\text{O}$: $27.02292/145.14824=0.1862\text{g}$ が吸水され、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: $172.17116/145.14824=1.1862\text{g}$ が生成される。

上記の反応を基にして、含水比 w_0 の試料に対して添加率 d で半水石膏を添加・混合すると、半水石膏の消化吸水により $0.1862dm_s/100$ が吸水され、 $1.1862dm_s/100$ の二水石膏が生成される。

これらの効果を考慮に入れて半水石膏を添加・混合した後の含水比 w_1 は次式(6)によって求められる。

$$w_1 = \frac{m_w - 0.1862 \frac{dm_s}{100}}{m_s + 1.1862 \frac{dm_s}{100}} \times 100 = \frac{w_0 - 0.1862d}{1 + 1.1862 \frac{d}{100}} \quad (6)$$

(4)無水石膏を添加した場合

半水石膏と同様の考え方により、試料に無水石膏 CaSO_4 を添加・混合すると、前出式(2)に示したように無水石膏は土中の水 $2\text{H}_2\text{O}$ を吸水し、二水石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ となり、含水比を低下させる¹⁾。

ここで、 $\text{CaSO}_4=136.1406$ 、 $2\text{H}_2\text{O}=36.03056$ となる。

前出式(2)より、 CaSO_4 : 1g に対して $2\text{H}_2\text{O}:36.03056/136.1406=0.2647\text{g}$ が吸水され、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}:172.17116/136.1406=1.2647\text{g}$ が生成される。

上記の反応を基にして、含水比 w_0 の試料に対して添加率 d で無水石膏を添加・混合すると、無水石膏の消化吸水により $0.2647dm_s/100$ が吸水され、 $1.2647dm_s/100$ の二水石膏が生成される。

これらの効果を考慮に入れて無水石膏を添加・混合した後の含水比 w_1 は次式(7)によって求められる。

$$w_1 = \frac{m_w - 0.2647 \frac{dm_s}{100}}{m_s + 1.2647 \frac{dm_s}{100}} \times 100 = \frac{w_0 - 0.2647d}{1 + 1.2647 \frac{d}{100}} \quad (7)$$

以上、石灰安定処理に関する既存の知見²⁾を参考にして、試料に二水石膏、半水石膏、無水石膏を添加・混合した場合の含水比を求める式を構築することができた。なお、本研究では、上記の式(5)、(6)、(7)より得られた含水比 w_1 を「計算により求めた真の含水比」と称する。

3. 計算により求めた真の含水比の比較

本章では推定式から得られた含水比にどの程度の差があるかを調べるために計算を行った。安定処理対象土は、著者らが実験に使用している市販の MC クレーとし、初期設定含水比は 120%、改良材の種類は二水石膏、半水石膏および無水石膏で添加率は最大 30%とする。

図-1 は、添加率 d と計算により求めた「真の含水比 w_1 」(実線)との関係を示す。なお、図中には併せて、吸水効果のない通常の安定材(例えば、消石灰など)を添加した場合の結果(破線)も示す。

図より、添加率の増加にともなって「真の含水比 w_1 」は低下しており、吸水効果のない通常の安定材よりも含水比低減効果が大きいことがわかる。

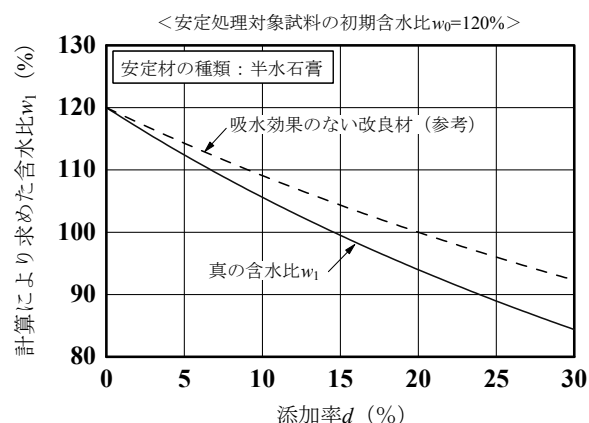


図-1 添加率と計算により求めた含水比との関係

表-1 計算により求めた安定材の添加率ごとの真の含水比の比較

安定材の種類	安定材の添加率 $d(\%)$		
	10	20	30
二水石膏	109.1	100.0	92.3
半水石膏	105.6	94.0	84.4
無水石膏	104.2	91.5	81.2
通常の安定材	109.1	100.0	92.3
生石灰	99.2	82.8	69.4

*安定処理対象試料の初期含水比 $w_0=120\%$

図-1 の結果を、添加率 10, 20, 30%の「真の含水比 w_1 」の値について表-1 にまとめた。併せて、表中に吸水効果のない通常の安定材と生石灰の場合の結果も示す。

表より、半水石膏の場合、通常の吸水効果のない安定材を用いた場合と比較して、添加率 10%で 3.5%, 20%で 6.0%, 30%で 7.9%と含水比が低下しており、石膏の吸水効果が現れている。また、無水石膏の場合、通常の安定材よりも添加率 10%で 4.9%, 20%で 8.5%, 30%で 11.1%と含水比が低下していることがわかる。

4. まとめ

本研究では、廃石膏ボード由来再生二水石膏、半水石膏、無水石膏の添加・混合にともなう含水比の低減効果を定量的に評価するために、石膏安定処理土の含水比推定式を提案した。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、「全国 KOSEN 廃石膏ボードリサイクルネットワーク(会長：佐野博昭)」関係各位には貴重なご意見を賜った。ここに、深甚なる謝意を表する。

本研究の一部は、平成 25 年度(材)日工記念事業団研究助成の補助を受けて実施した。

【参考文献】1) 無機マテリアル学会編：セメント・セッコウ・石灰ハンドブック、技報堂出版、1996. 2) 日本石灰協会：石灰安定処理工法－設計・施工の手引一、pp. 7-16, 2005.