

## 石炭灰を用いた煉瓦開発とその環境負荷評価

○ディニル ブシュパラル\*

正会員 松本年史\*\*

1.材料施工 1.コンクリート用材料  
フライアッシュ 煉瓦  
ポゾラン反応 高炉セメント

## 1. はじめに

自国で算出される石炭をエネルギー及び鉄鋼産業に利用している中国とインドは、大量の石炭灰が排出されている。また、中国とインドではエネルギー供給を石炭による火力発電に依存しているため、石炭灰の処分と有効利用は重要な国家的関心分野となっている。環境への関心の高まりと環境問題の規模の増大に伴い、石炭灰管理に関するシナリオはここ数年で著しい改善が見られている。更に重要なことは、石炭灰は極めて大きな利用可能性をもっているということである。

他方、煉瓦は中国やインドで使われる最も重要な建材のひとつである。中国の国家統計によると2000年に中国は1.78兆個の煉瓦を製造しており、インドは毎年3,600億個の煉瓦を製造すると発表している。煉瓦製造はエネルギー集約型の産業であり、中国やインドで煉瓦の焼成に使われる燃料は石炭である。我々の推計によると、両国は煉瓦焼成によって2000年に最低5億5,400万トンの二酸化炭素を排出しており、これは同年における両国の二酸化炭素排出の14%に相当する。

焼成粘土煉瓦の代替原料として、石炭灰を大量に用いた煉瓦の導入が考えられる。石炭灰の利用は、煉瓦製造に伴う環境問題の規模を削減し、さらに、粘土のような伝統的な原料の保全につながることになるであろう。

本調査では、二酸化炭素の排出を可能な限り抑えながら、フライアッシュを最大限に利用できる配合を見出すことを目的とする。また、中国建築規制によると、煉瓦を建物の建築に使う場合、煉瓦の圧縮強度は最低でも10MPaでなければならない。これらの項目を最も重要な決定因子として、本論文では圧縮強度と二酸化炭素排出量の間で適切なバランスをもつ配合を明らかにする。

## 2. 実験方法

本調査で用いた材料の配合をTable 1に示す。この配合は、著者が調査対象とした数種の配合の中で、最も優れていたものである<sup>1)</sup>。フライアッシュの主要な化学成分をTable 2に示す。本研究で高炉セメント(B種)を使

った理由は高炉セメントは二酸化炭素発生量が低いからである。比較のため、普通ポルトランドセメントを用いた。両セメントは太平洋セメント株式会社の製品である。全ての配合において、バインダー(普通ポルトランドセメント或いは高炉セメント、及び水酸化カルシウム)の合計は一定量とした。なお、配合設計の際は、高炉セメントを水酸化カルシウムで置き換えながらその他の材料は一定とした。水酸化カルシウムはポゾラン反応を促進するとともに、バインダーとして働きもあるため混入した。さらに、発展途上国では水酸化カルシウムは高炉セメントよりも安価であり、フライアッシュ煉瓦産業で広く使われている。

材料をパドルミキサーで混合後、金型に入れ、圧縮成形によって直径が50mm、高さが100mmの供試体に成型した。成型圧力は17MPaとしたが、この圧力は、多くの商用煉瓦製造用圧縮成形機の実際の圧力である。次いで、供試体は8時間、80°C-90%の相対湿度で蒸気養生した。本研究では意図的にオートクレーブによる養生を避けた。オートクレーブ養生は、フライアッシュ煉瓦の一般的な養生法のひとつではあるが、著者の特別の関心は、小規模煉瓦製造業者にとって実施可能な手頃な価格とすることであった。

Table 1 Mix proportions by weight (g)

Mix Type*	Cement	Ca(OH) <sub>2</sub>	Fly ash	Sand	Water	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
P-0	100	70	500	330	125	12
S-0	100	70	500	330	125	12
S-1	85	85	500	330	125	12
S-2	70	100	500	330	125	12
S-3	35	135	500	330	125	12
S-4	0	170	500	330	125	12

\*Pは普通ポルトランドセメント\*Sは高炉セメント(B種)

Table 2 Chemical composition of fly ash

Chemical composition (wt%)				LOI
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	
53.8	28.0	6.16	4.31	1.39

3. 実験結果及び考察

Table 3 に、6 本の供試体の平均圧縮強度及び他の結果を示す。「見掛けの二酸化炭素排出量」は、セメントおよび水酸化カルシウムのみでの排出量から計算されたものであり、他の原料による比較的少量の二酸化炭素排出量は無視している。見掛けの二酸化炭素排出量を計算するために、二酸化炭素の排出係数としてポルトランドセメントには  $0.798\text{g/g}^2$ 、高炉セメントには  $0.481\text{g/g}^2$ 、水酸化カルシウムには  $0.748\text{g/g}^3$  を用いた。当然のことながら、全ての混合比に関して、強度は、セメントの混合量が増えるに従い増加している。Fig. 1 に、圧縮強度及び排出量/強度の係数の関係を示す。供試体 S-0 は排出量/強度の係数が最も低く、煉瓦製造においてはもっとも環境に優しいことが示される。配合 S-0 の成型圧力と圧縮強度の依存性を Fig 2 に、比重と圧縮強度の依存性を Fig 3 に示す。

Table 3 Compressive strength, apparent CO<sub>2</sub> emission and emission/strength factor

Mix Type	Compressive Strength (MPa)	Apparent CO <sub>2</sub> Emission (g)	Emission/strength Factor (g/MPa)
P-0	30.4	132	4.35
S-0	27.4	100	3.67
S-1	21.5	104	4.86
S-2	18.0	108	6.02
S-3	18.0	118	6.54
S-4	8.2	127	15.51

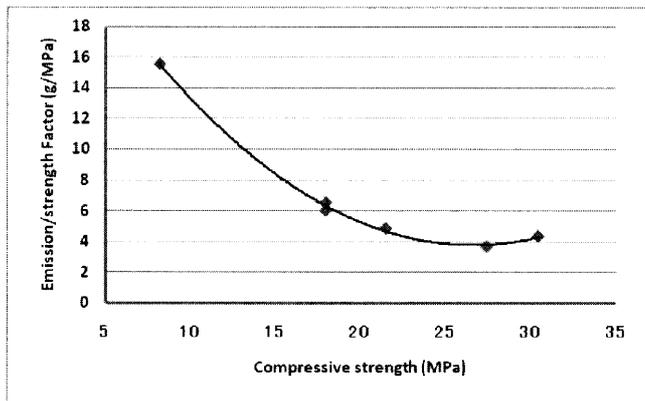


Fig. 1 Relationship between compressive strength and emission/strength factor

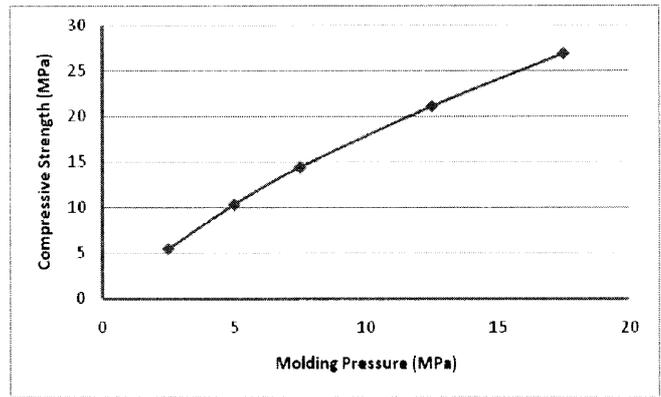


Fig. 2 Relationship between molding pressure and compressive strength

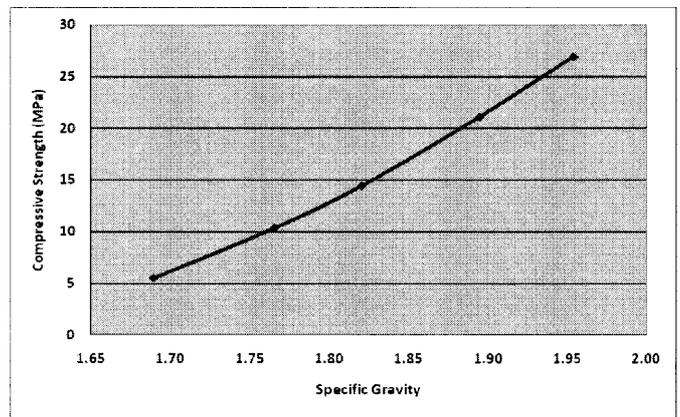


Fig. 3 Relationship between specific gravity and compressive strength

4. まとめ

本調査では、フライアッシュを大量に使い、且つ、二酸化炭素の排出量が低い煉瓦製造方法を見つけることを試みた。セメントと水酸化カルシウムの比を 10:7 としたものが最も利用実現性が高いように思われる。しかしながら、高炉セメントの配合割合をかなり下げた場合も、煉瓦製造の強度仕様を満足している。

【参考文献】

- 1) ディニル プシュパラル、日本特許 (準備中)
- 2) セメントの LCI データの概要、社団法人セメント協会、2009 年 6 月 19 日
- 3) 地球温暖化対策への取り組み、日本石灰協会・日本石灰工業組合

\* 東北大学大学院国際文化研究科

TOHOKU UNIVERSITY

\*\* 東北芸術工科大学建築・環境デザイン学科

TOHOKU UNIVERSITY OF ART & DESIGN