

衝撃吸収モルタルの開発

鈴木俊作, 森本 茂, 山内智玲

(株)TYK 明智工場 〒509-7795 岐阜県恵那市明智町1614

Development of Shock Absorbing Mortar

Shunsaku SUZUKI, Shigeru MORIMOTO and Noriaki YAMAUCHI

Akechi Plant, TYK Corporation, 1614 Akechi-cho, Ena-shi, Gifu 509-7795, Japan

要 旨：連続鑄造用ノズルにおいて、首部に亀裂や折損が発生しやすいという問題がある。今回、ノズルとメタルケースの間にあるモルタルに衝撃吸収性を持たせることにより、亀裂や折損の低減を目的として行った開発について述べる。今回、ハイアルミナ質のモルタルに中空粒子を 0~20 mass% 添加し、それぞれ乾燥後と 900 °C で加熱した試料を作製した。各試料に対して落球試験と落錘衝撃試験により衝撃吸収性評価を行った。加熱前後ともに中空粒子添加量が増えるにつれて、衝撃吸収性が高くなることが確認できた。衝撃吸収性が高い試料ほど試験時に供試体が碎けていることと、モルタルが碎けない程度の衝撃の大きさでは中空粒子を添加しても衝撃吸収性が向上していないことからモルタルが碎けることで衝撃を吸収していると考えられる。モルタルが碎けやすすぎるとメタルケース脱落等のトラブルにつながる可能性があるため、最適な中空粒子添加量の選定が必要となる。

キーワード：連続鑄造用ノズル, メタルケース, モルタル, 衝撃吸収, 中空粒子

1 緒言

連続鑄造に使用するロングノズルや浸漬ノズルの主な損傷形態の一つに亀裂が存在する。亀裂の発生要因には熱的応力と機械的応力があり、後者の緩和方法としては支持装置の圧力管理や耐火物を保護するメタルケースの設置、クッション材の配置などがある。¹⁾

今回、耐火物とメタルケース間のモルタルに衝撃吸収性を付与することで機械的応力緩和を目的とし、衝撃吸収モルタルの開発を行った。モルタルに衝撃吸収性を持たせるため、モルタルに中空粒子を添加した試料を作製し、衝撃吸収性の評価とその評価方法の検討を行った。

2 実験方法

2・1 供試試料

表 1 の割合で中空粒子を添加したモルタルを枠内に流し込み、24時間養生後、80 °C で24時間乾燥することで試料を作製した。モルタルはハイアルミナ質のものを扱い、中空粒子は粒径0.7 mm以下のパーライトを用いた。試料は乾燥後のものと乾燥後に900 °C で4時間加熱したものをそ

れぞれ作製した。

2・2 衝撃吸収性評価

耐火物の衝撃荷重試験としてシャルピー試験や落錘試験、落球試験があげられるが、評価法として確立されてはいない。²⁾ 今回、衝撃吸収性を評価するにあたり、落球試験と落錘衝撃試験による評価を検討した。

2・2・1 落球試験

落球試験用供試体について図 1 に示す。60*60*15 mm の耐火物上に44*44*5 mmの試料を置き、試料の周りに幅 8 mm, 厚み 5 mmのバックアップ材を張り付けること

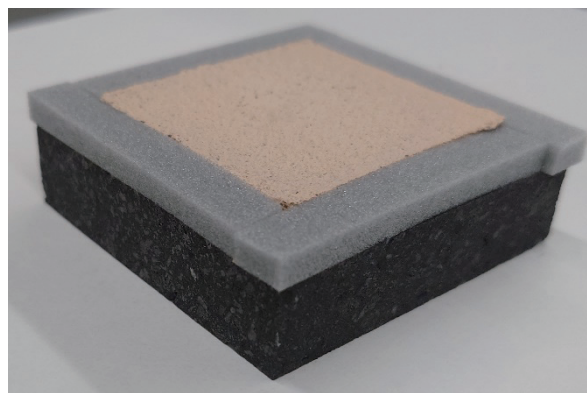


Fig. 1 Picture of iron ball drop test sample.

Table 1 Hollow particles addition

	A	B	C
Hollow particles / mass%	0	10	20

第12回鉄鋼用耐火物研究会 発表
投稿責任者 鈴木俊作

で落球試験用供試体とした。耐火物はグラファイト-炭化ケイ素質を用いた。落球試験概要について図2に示す。高さ1800 mmの位置から直径50 mm、重量509 gの鋼球（JIS B 1501規格品）を供試体に落下させ、耐火物の破損状態を確認した。破損状態は表2のように5段階に分け、それぞれ5～1点を振り分けた。各試料それぞれ10個ずつ供試体を作製、試験を実施し、それぞれの供試体について耐火物の破損状態を確認し、点数を振り分けた。各試料10個の供試体の平均点数により各試料の衝撃吸収性を評価した。

2・2・2 落錘衝撃試験

落錘衝撃試験は40*40*10 mmの試料を作製し供試体とした。試験時の供試体飛散防止のため、供試体は小さな穴を複数個あけた100*70 mmのポリ袋に入れ、落錘衝撃試験機（Imatek Systems Ltd, IM10T-40HV）を用いて試験を行った。図3に落錘衝撃試験機の概要を示す。落錘重量10.34 kgまたは12.34 kg、φ80 mmのストライカー（サンプルに衝突する部分）を高さ150 mmの位置から供試体に落下させ、ロードセルにかかった最大荷重により衝撃吸収性を評価した。ストライカーの落下は同一供試体に対して3回繰り返し、各落錘時に碎けた供試体の破片は取り除いて試験を行った。また各落錘後に供試体厚みを測定した。

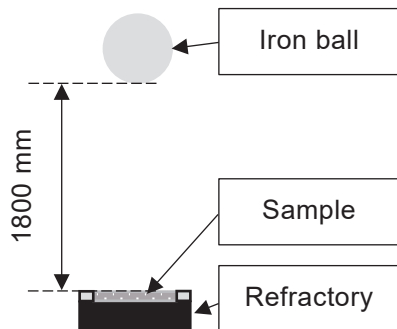


Fig. 2 Schematic diagram of iron ball drop test.

3 結果

3・1 試料観察

表3に作製した試料の切断面、顕微鏡写真、SEM画像を示す。加熱前後にかかわらず中空粒子を添加することにより、モルタルのみの場合と比較して空隙が多数確認された。

3・2 落球試験結果

図4に評価点数を示す。同一試料の供試体の中でも試験後の耐火物破損状態にばらつきがみられたものの、各試料10回の平均で評価すると加熱前後ともにC, B, Aの順に点数が高く（耐火物の破損が少なく）、衝撃吸収性が高いことが示唆された。図5に鋼球が供試体に衝突した際にモルタル表面に生じたへこみの直径（以下、落球痕径と呼ぶ）の平均を示す。点数が高いほど落球痕径が大きい傾向があり、点数と落球痕径の間に相関性がみられた（図6）。

表4に試験後の供試体と鋼球が跳ね返った状態を示す。落球時の鋼球の跳ね返り高さを確認すると、点数が高いほど跳ね返り高さが低い傾向はあるものの点数の高さと跳ね返り高さの順には完全には一致していなかった。これは供試体による衝撃吸収のほかに耐火物の破損に衝突のエネルギー

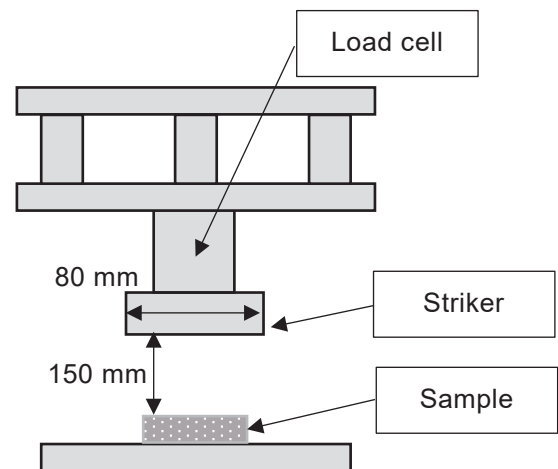

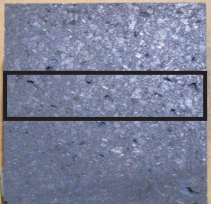

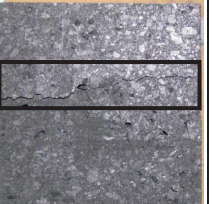
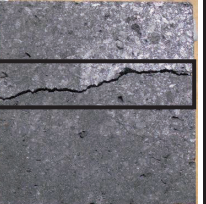


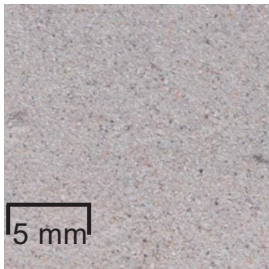
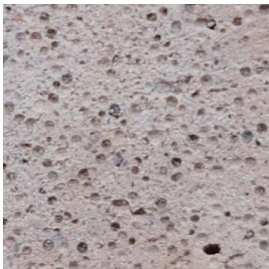
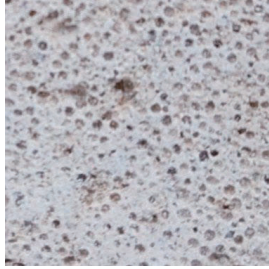
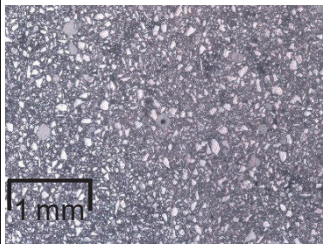
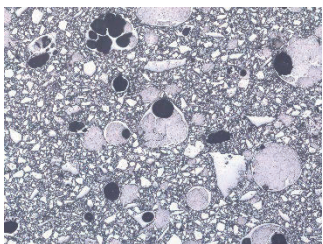
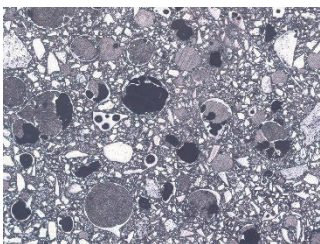
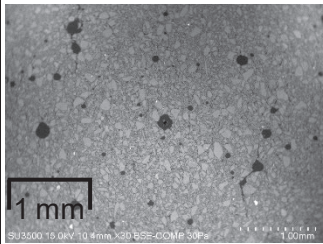
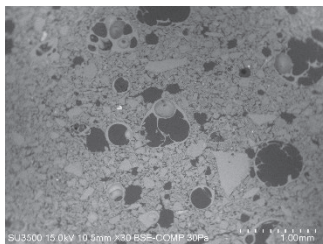
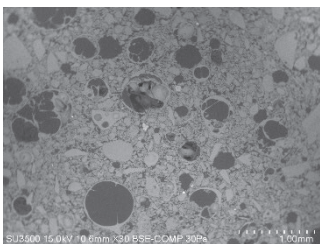
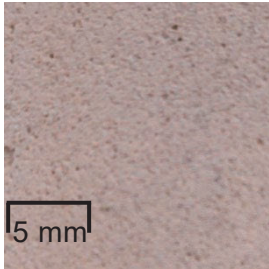
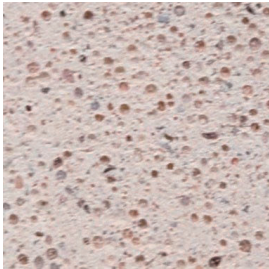
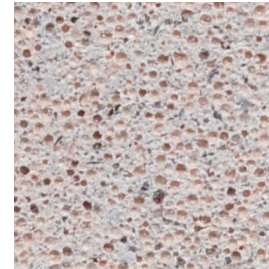
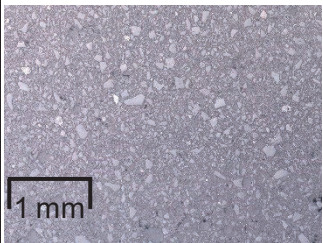
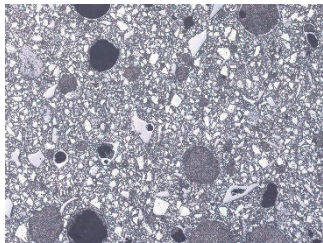
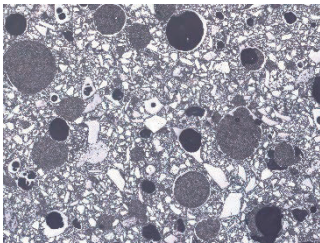
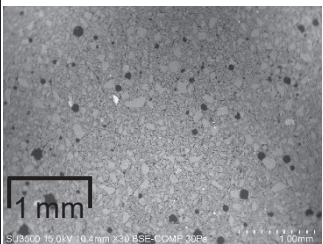
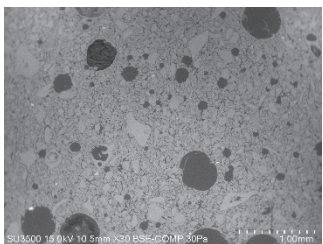
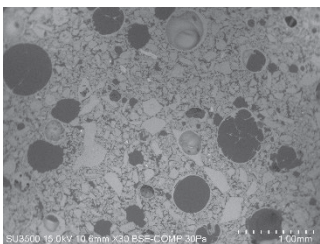
Fig. 3 Schematic diagram of Falling weight type impact test.

Table 2 Evaluation criteria of iron ball drop test

Score	5	4	3	2	1
	No cracks	Small cracks	Middle cracks	Large cracks	Crushing
Brick condition					

There are cracks in the frames.

Table 3 Samples

Before heating	A	B	C
Cutting surface			
Microphotograph			
SEM image			
After heating	A	B	C
Cutting surface			
Microphotograph			
SEM image			

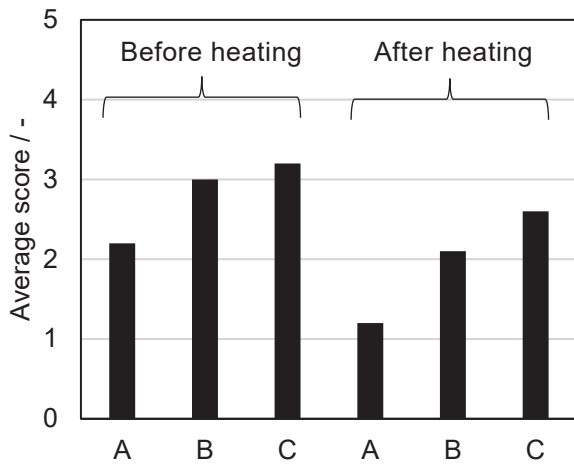


Fig. 4 Average score.

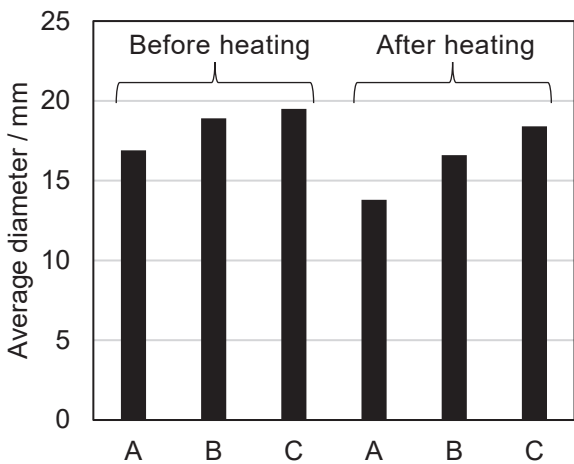


Fig. 5 Average diameter.

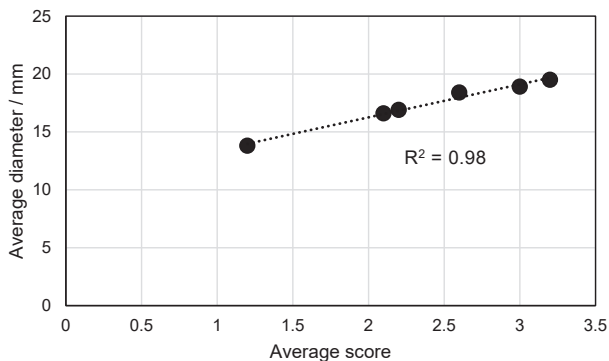


Fig. 6 Relationship between score and diameter.

一が使われたためと思われる。しかしながら加熱前と加熱後でそれぞれ跳ね返り高さを比較してみると、いずれもC, B, Aの順に跳ね返り高さは低かった。

3・3 落錘衝撃試験結果

図7に最大荷重の指数を示す。最大荷重が小さいほど衝撃吸収性が高いことを示し、指数は各落錘重量及び焼成前後それぞれ（図7(a)～(d)それぞれの条件）において、A

の1回落錘時の最大荷重を100とした。各落錘重量における最大荷重を確認すると、落錘重量10.34 kgの場合は加熱前後ともに $C < B \approx A$ 、落錘重量12.34 kgの場合は加熱前後ともに $C < B < A$ の順に最大荷重が小さく、供試体にかかる衝撃の大小によって衝撃吸収性に違いがあることが示唆された。落錘重量12.34 kgの場合については落球試験と同様にC, B, Aの順に衝撃吸収性が高いことが示された。

図8に各落錘後の供試体厚みが試験前からどの程度減少したかを示す。供試体が完全に砕けた加熱後Cの3回落錘後は数値なしとした。最大荷重が小さいほど供試体厚みの減少率が大きく、供試体の圧縮、変形が大きい傾向が確認された。

表5に試験後の供試体と1回落錘時のストライカーが供試体に衝突してから40 ms後の状態を示す。試験後の加熱前B供試体において落錘重量10.34 kgと12.34 kgで大きな違いが見られ、前者では3回落錘後も供試体が大部分形を保っていたのに対して、後者では大部分が砕けていた。加熱前B以外の供試体については外周部の欠けた量に違いは見られるもののどちらの落錘重量でもほぼ同様の状態であり、加熱前後のAと加熱後のBは外周部の欠けは見られたが供試体が形を保っていたのに対して、加熱前のCは大部分砕けており、加熱後のCは完全に砕けていた。外周部の欠けまたは砕け方が大きいほど最大荷重は小さい傾向が見られた。40 ms後のストライカーの跳ね返り高さは最大荷重が小さいほど低い傾向があり、最大荷重が同等であった落錘重量10.34 kgの加熱前A, Bの跳ね返り高さはほぼ同じであった。



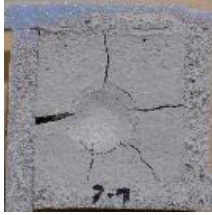


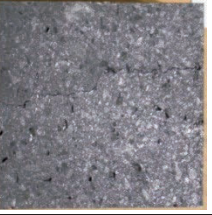







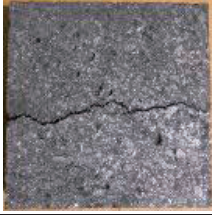
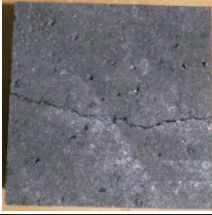



4 まとめ

ノズルの首部折損対策としてモルタルに中空粒子を添加し、その衝撃吸収性の評価を行った。中空粒子を添加することでモルタルに空隙が多くなることが確認された。今回の落球試験と落錘衝撃試験において、各試料に衝撃が加わった際の影響の違いが明確に確認されたことから本試験は衝撃吸収性評価の手段として妥当であると考えられる。しかしながら、落球試験においては以下の二つの点において課題が存在する。

- ・評価方法が人の目視による破損状態の確認であり、人により評価がばらつく
- ・供試体作製時のモルタルのばらつきと耐火物のばらつきの両方が試験結果に影響する

耐火物の破損状態と落球痕径の間には相関性があることから、下地に耐火物を用いず、試料に鋼球を落下させてその落球痕径あるいは面積などで評価することでモルタルの衝撃吸収性をより適切に評価できる可能性がある。

Table 4 Result of iron ball drop test

		A	B	C
Before heating	Surface condition of mortar			
	Condition of brick bottom surface			
	Bounce height image			
After heating	Surface condition of mortar			
	Condition of brick bottom surface			
	Bounce height image			

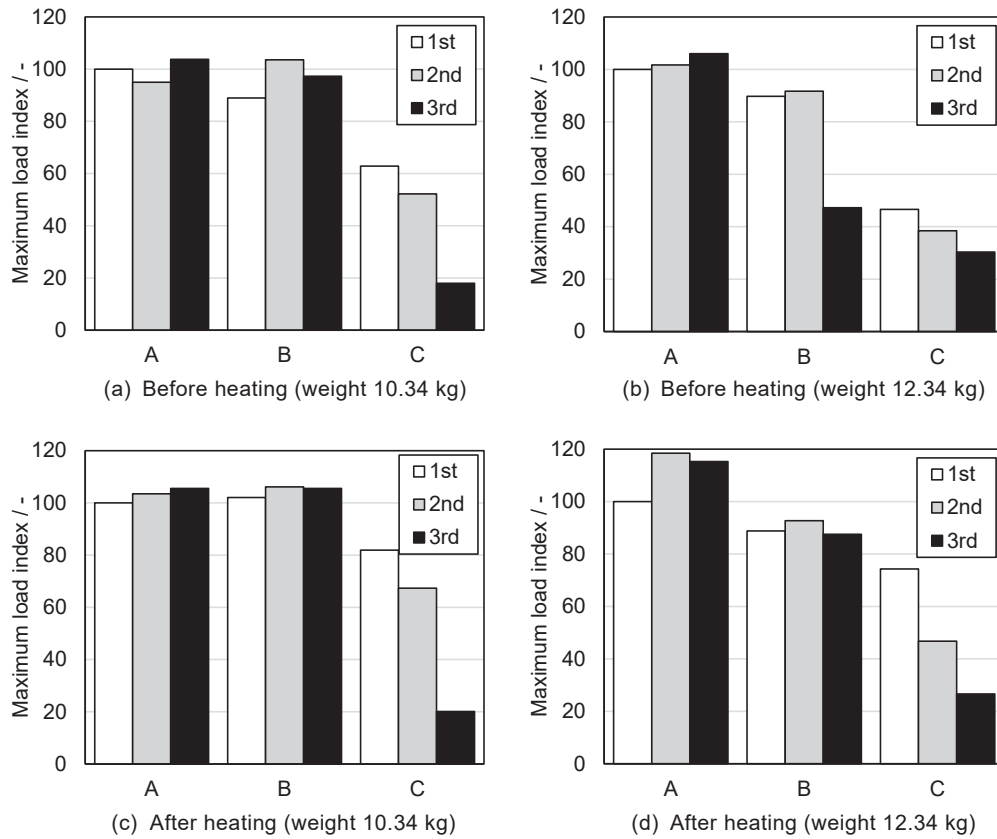


Fig. 7 Result of maximum load.

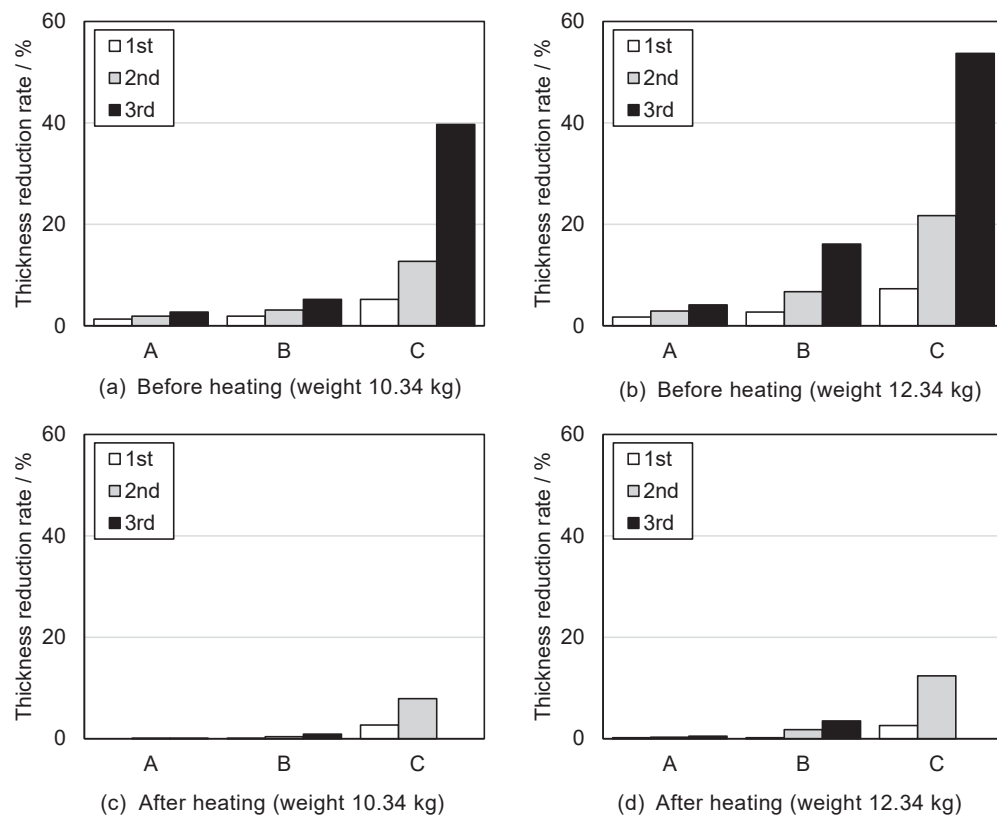







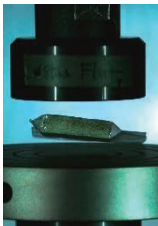
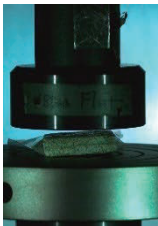
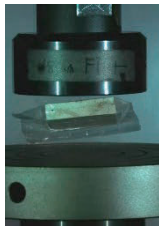
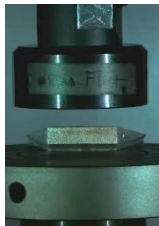







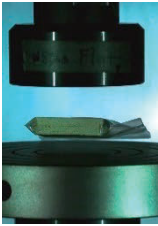



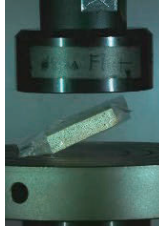



Fig. 8 Result of thickness reduction rate.

Table 5 Falling weight impact test

Drop Weight	10.34 kg			12.34 kg		
Before heating	A	B	C	A	B	C
After 3 rd drop						
40 ms after impact (1 st drop)						
After heating	A	B	C	A	B	C
After 3 rd drop						
40 ms after impact (1 st drop)						

落球試験と落錘衝撃試験より、加熱前後にかかわらず中空粒子の添加量が増えるにつれて衝撃吸収性が高くなることが判明した。どちらの試験においても衝撃吸収性が高いほどモルタルが砕けやすい傾向が確認されたことから、荷重がかかった際にモルタルが砕けることで衝撃が吸収されているものと考えられる。

中空粒子を添加するとモルタルに空隙が導入され、モルタルの組織が緻密でなくなることで砕けやすくなり、衝撃吸収性が向上したと思われる。同一試料の加熱前後で比較すると、加熱後は加熱前と比較して衝撃吸収性が低かった。これはモルタルが加熱により高強度化したことで砕けにくくなったため、衝撃吸収性が低くなったと思われる。

中空粒子の添加量が増えるにつれてモルタルが脆くなり衝撃吸収性が高くなるが、耐火物とメタルケース間に使用されるモルタルが脆すぎると衝撃がかかった際に隙間が生じやすくなりメタルケースが脱落する可能性が考えられる。また落錘衝撃試験の結果より、モルタルが砕けない荷重においては中空粒子を添加しても衝撃吸収性が得られないことから、使用時に想定される荷重に適した中空粒子の添加量選定が今後の課題になってくると考えられる。

文献

- 1) 余多分智博, 山内智玲: 耐火物, 66 [9] 456-463 (2014).
- 2) 第5版 鉄鋼便覧 第1巻 製鉄・製鋼 (2014) pp.77.