Min Li[1,2], Zhishen Wu[1], Xiaoyong Qian[2]

[1]Key laboratory of C&PC structures, Ministry of Education, International Institute for Urban System Engineering, Southeast University, Nanjing, China
[2]Jiangsu Key Laboratory for Construction Materials, Southeast University, Nanjing, China

Wpływ wzmocnienia powierzchniowego autoklawizowanego betonu komórkowego na jego właściwości

Influence of surface strengthening agent on the properties of autoclaved aerated concrete

1. Wstęp

Autoklawizowany beton komórkowy (ABK) jest materiałem konstrukcyjnym produkowanym z cementu, wapna, popiołu lotnego i proszku glinowego oraz innych materiałów. Właściwości ABK łączą wytrzymałość lekkiego betonu z izolacyjnością cieplną, odpornością ogniową co powoduje, że prace budowlane są łatwiejsze i przyjazne dla środowiska (1-4). Z tych względów ABK staje się coraz popularniejszym materiałem do budowy lekkich ścian w budynkach.

Wytrzymałość i właściwości izolacyjne ABK są zawsze przeciwstawne; gdy poprawia się izolacyjność cieplna wówczas maleje wytrzymałość. W związku z tym zapewnić tym betonom równocześnie wytrzymałość i korzystne właściwości izolacyjne znajdowało się w centrum uwagi wielu badaczy.

Przegląd literatury pokazuje, że stosowano kruszywa lekkie i różne rodzaje włókien w celu wzmocnienia ABK. Chen Xiaoping (5) stosował kruszywo lekkie do tego celu. Wyprodukował on nowy rodzaj bloczków ABK [B07] o dużej wytrzymałości na ściskanie [5,7 MPa], o małym skurczu [0,44 mm/m] i dobrych właściwościach izolacyjnych [0,15 W/mk].

Włókna polipropylenowe, włókna z brucytu, włókna węglowe i bazaltowe były stosowane do wzmocnienia ABK (6-9). Wyniki wykazały, że niektóre włókna poprawiły wytrzymałość ABK i miały mały wpływ na przewodność cieplną tego betonu. Jednak trzeba rozwiązać problem aglomeracji włókien.

Qian Jiyuan (10) stosował impregnację polimerami uzyskując zwiększenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie, odpowiednio o 0,88-2 razy i 1-2 razy. Jednakże pory w betonie ulegały częściowemu wypełnieniu prze te polimery co zmniejszało izolacyjność cieplną i akustyczną. Zhou Tiancheng (11) badał właściwości popiołowego betonu porowatego dodając emulsję akrylową. Uzyskane ABK miały dużą wytrzymałość i małą absorpcję wody.

W celu zbadania mechanizmu wzmacniania analizowano mikrostrukturę tego ABK. Mostafa (12) stosował rentgenografię,

1. Introduction

Autoclaved aerated concrete (AAC) is a construction material which is prepared from cement, lime, fly ash, gas evolution agent and other materials. AAC integrates strength, thermal insulation, lightweight, fire resistance and machinability as a whole and makes the process of construction more efficient and environment-friendly (1-4). As a result, AAC is getting more and more attention as a lightweight wall material.

Strength and thermal insulation property of AAC restricted mutually. When the thermal insulation performance of AAC is improved, the strength of AAC is decreased on the same time. Therefore, how to get an AAC with both high strength and excellent thermal insulation property has attracted the attention of many researches.

The present literatures show that lightweight ceramsite and kinds of fibers were used to strengthen AAC. Chen Xiaoping (5) used ceramisite to enhance AAC. He prepared a new kind of B07 AAC blocks with high compressive strength (5.7 MPa), less shrinkage (0.44 mm/m), and well thermal insulating property (0.15 W/m·K). Polypropylene fiber, brucite fiber, carbon fiber and basalt fiber have been used to strengthen AAC (6-9). The results indicated that some fibers improved the strength of AAC and had less impact on the thermal conductivity of AAC. However, the problem of fiber agglomeration should be solved.

Qian Jiyuan (10) used the polymer impregnation method to increase the compressive strength and the flexural strength by 0.88~2 times and 1~2 times, respectively. However, the pores of AAC were filled partly by theses organic polymers, which weakened the thermal and sound insulation property. Zhou Tiancheng (11) studied the properties of fly ash aerated concrete added with acrylic emulsion. The prepared AAC presented high strength and low water absorption.

To investigate the strengthening mechanism, the microstructure and performance of this AAC were studied. N.Y. Mostafa (12) used XRD, Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy-

elektronową mikroskopię skaningową i spektroskopię promieni rentgenowskich w celu zbadania produktów hydratacji, co doprowadziło go do wniosku, że wzmocnienie ABK jest wynikiem przemiany C-S-H w tobermoryt. N. Narayanan i K. Ramamurthy (13) stosowali także rentgenografię w celu zbadania składu fazowego i zmian struktury porów. Pomimo, że dodatek lekkiego kruszywa, polimerów i włókien może zwiększyć wytrzymałość na ściskanie ABK to jednak izolacyjność cieplna ulega pogorszeniu i proces produkcyjny staje się skomplikowany w związku z koniecznością kontroli aglomeracji włókien i polimeryzacji.

We wcześniejszych badaniach przygotowaliśmy ABK o doskonałej izolacyjności cieplnej. W tej pracy zastosowano impregnację powierzchniową betonu w celu jego wzmocnienia. Proces wzmocnienia jest prosty i właściwości izolacyjne pogorszyły się nieznacznie. Zbadano skład fazowy betonu i jego przestrzenną mikrostrukturę w celu wyjaśnienia przyczyn wzmocnienia przez zastosowanie dodatku, działającego powierzchniowo.

2. Doświadczenia

2.1. Materiały

Proszek glinowy był produkcji Luoyang Discoverer Aluminum Co. Ltd. Pozostałość na sicie 0.075 mm tego proszku była mniejsza od 1%. Powierzchnia właściwa cementu portlandzkiego CEM 52,5 wynosiła 330 m^2/kg, a wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach 62,7 MPa.

Stosowano nano-krzemionkę ($nSiO_2$) firmy EVONIK, jej nazwa handlowa to AEROSIL 200. Pył krzemionkowy był produkcji Luoyang JiHe Micro-Silica fume Co. LTD., Chiny. Właściwości nano-krzemionkii pyłu krzemionkowego podano w tablicy 1. Wapno pochodziło z zakładów Zhenjiang Dongsheng Lime Products Co. Ltd. Zawartość CaO wynosiła 86,9%, a strata prażenia była poniżej 4%. Stosowany piasek miał zawartość krzemionki przekraczającą 99%.

Domieszka A, którą stosowano do regulacji szybkości hydratacji wapna była produkcji Jiangsu Jie Cheng Kai New Material Technology Co. Ltd., Chiny. Domieszka B to superplastyfikator 2651 F, produkowany przez BASF. Domieszka C, stosowana w celu zwiększenia lepkości, była produkcji Shanghai Sinopharm Chemical Reagent Co. Ltd., Chiny. Do powierzchniowego wzmacniania betonu stosowano szkło wodne, zawierające uwodniony krzemian potasu.

Tablica 1 / Table 1

WŁAŚCIWOŚCI NANOKRZEMIONKI I PYŁU KRZEMINKOWEGO

THE PROPERTIES OF NANO-SiO_2 AND SILICA FUME

Materiał Material	Średnica cząstki Particle diameter nm	Powierzchnia kruszywa Specific surface area m^2/g	Gęstość Density g/cm^3	Zawartość SiO_2, Purity %
n-SiO_2	12	200±25	0.05	≥99.8
Pył krzemionkowy Silica fume	100	25	240	≥98

-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) to analyze the hydration products and come to a conclusion that the strengthening was caused by the transformation of C-S-H gel to tobermorite. N. Narayanan and K. Ramamurthy (13) also used XRD to analyze the phase composition and the process of pores structure changes. Although adding ceramsite, polymer and fibers can improve the compressive strength of AAC, the thermal insulation property is decreased and the preparation process is complicated in order to control fiber agglomeration and polymerization.

We have prepared AAC with excellent thermal insulation property in our previous study. In this study, the AAC were strengthened by being impregnated by surface strengthening agent. The strengthening process was simple and the thermal insulation property was increased slightly. The phase composition and three-dimension microstructure of the strengthened AAC were analyzed and the action mechanism by the surface strengthening agent was discussed.

2. Experimental

2.1. Materials

Aluminum powder was produced by Luoyang Discoverer Aluminum Co., Ltd. The residue on sieve 0.075 mm of the aluminum powder was less than 1%. The surface area of Portland cement 52.5 was 330 m^2/kg and the compressive strength after 28 days was 62.7 MPa.

Nano silica (n-SiO_2, AEROSIL200) was produced by EVONIK industries, Germany. Silica fume was produced by Luoyang JiHe Micro-Silica fume Co. LTD. China. The chemical and physical properties of nano-SiO_2 and silica fume are shown in Table 1.

Lime was purchased from Zhenjiang Dongsheng Lime Products Co. Ltd. The calcium oxide content of lime was above 86.9% and the loss on ignition was under 4.0%. The content of silica in sand was above 99%.

Admixture A, which is used to control hydration rate of the lime, was produced by Jiangsu Jie Cheng Kai New Material Technology Co. Ltd., China. Admixture B (Polycarboxylate superplasticizer, 2651 F) was produced by BASF industry, Germany. Admixture C, which was used to control viscosity of slurry, was produced by Shanghai Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd. China. As the surface strengthening agent the water glass was used, which contained hydrated potassium silicate. Surface strengthening agent (MS-H) was purchased from JCK CO. LTD.

2.2. Preparation of AAC

The mix proportion of AAC was shown in Table 2.

Firstly, cement, lime and sand were mixed together. Then admixtures B and C nano silica were added. The silica fume slurry (30±1°C) and

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD MIESZANKI ABK

MIX PROPORTION FOR AAC PREPARATION

Materiały Materials	Pył krzemionkowy Silica fume	Wapno Lime	Piasek Sand	Cement	Domieszki Admixtures			$n\text{-}SiO_2$ Nano silica	Woda Water	Proszek glinowy Aluminum powder
					A	B	C			
Ilość Weight, g	184	300	180	70	1.6	35	2.6	68.2	683	1.4

2.2. Przygotowanie ABK

Skład betonu podano w tablicy 2. Produkcja rozpoczynała się mieszaniem na sucho cementu, wapna i piasku. Następnie dodawano domieszki B i C oraz nano-krzemionkę. Szlam pyłu krzemionkowego w temperaturze 30 ± 1°C i wodę 35 ± 1°C dodawano do mieszanki -1700 obrotów/minutę i mieszano 5 minut. W końcu dodawano proszek glinowy i domieszkę A do masy i mieszano 1 minutę. Po tych operacjach masą wypełniano formy.

Próbki do badań przewodności cieplnej miały wymiary 300 x 300 x 300 mm. Próbki o wymiarach 100 x 100 x 100 mm i 40 x 40 x 160 mm były stosowane odpowiednio do badań wytrzymałości na ściskanie i zginanie. Próbki dojrzewały początkowo w temperaturze 55°C i wilgotności względnej około 60% przez 2 godziny, a następnie w temperaturze 28 ± 2°C przez 10 godzin. Po tym okresie poddawano je autoklawizacji w parze nasyconej o ciśnieniu 1,25 MPa przez 8 godzin. W końcu zanurzano je w roztworze dodatku wzmacniającego powierzchnię w temperaturze 25 ± 2°C przez 24 godziny, po czym suszono w 60°C.

2.3. Metody

Wytrzymałość na ściskanie i zginanie badano zgodnie z normą GB/T11971: 1997, a przewodność cieplną zgodnie z GB/T10285: 2008. Rentgenowską tomografię komputerową stosowano do otrzymania obrazów przestrzennych mikrostruktury próbek ABK (14). Mikrostrukturę ABK badano za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego, a do badania domieszki wzmacniającej powierzchnię stosowano rentgenografię.

3. Wyniki doświadczeń

3.1. Wytrzymałość i przewodność cieplna wzmocnionych ABK

Oznaczono gęstość, wytrzymałość na ściskanie i zginanie, przewodność cieplną ABK; wyniki podano w tablicy 3. Uzyskane wyniki pokazują, ze odpowiednio wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz gęstość wzmocnionego ABK są większe o 34%, 23% i 25% w stosunku do zwykłego ABK. Przewodność cieplna wzrosła o 7%. Pomimo, że izolacyjność się pogorszyła to przewodność cieplna wzmocnionego ABK wynosi tylko 0,0733 W/(m·K). Oznacza to, że wzmocniony ABK ma dobre właściwości izolacyjne.

water (35±1℃) were added and stirred by mixer (1700 r/min for 5 minutes). Finally, aluminum and admixture A were added into the slurry and then stirred for 1 minute. After that, the slurry was poured into the mould.

The produced samples for thermal insulation test had the size of 300×300×30 mm. The samples of dimension 100×100×100 mm and 40×40×160 mm were used for compressive and flexural strength tests, respectively. The samples were first cured at 55℃ and about 60% of RH for 2 hours. Then they were placed at temperature of 28±2℃ for 10 hours. Afterwards they were submitted to saturated steam pressure of 1.25 MPa for 8h, then they were immersed in surface strengthening agent for 24 hours at 25±2℃ and then after dried at 60℃.

2.3. Methods

The compressive and flexural strength of AAC were tested in accordance to the standard GB/T11971: 1997. The thermal conductivity of AAC was tested according to the standard GB/T10285: 2008 using the automatic press. A pressure testing machine (TYE-2000B, AiLiKang Co.,Ltd., China) was used to test the compressive strength of AAC. The loading rate was 2.0±0.5 kN/s. A bending tester (AEC-201, XinLuDa Co. Ltd, China) was used to test the bending strength and the loading rate was 0.2±0.05 kN/s.

X-ray computed tomography (XCT) was used to obtain the three-dimensional images of the microstructure and pore structure of the AAC samples. In this study, Y. CT precision system (YXLON, Germany) was used. The voltage and current of the X-ray tube were 225 kV and 0.65 mA, respectively. The detection unit amount of flat panel detector (Y.XRD 1620) was 1024. The voxel size was 0.0721 mm×0.0721 mm×0.0721 mm and the rotation angles were 360° (14).

ESEM (XL30ESEM, PHILIPS, Dutch) was used to observe the microstructure of AAC. The voltage was 20 kV. XRF (QUANT'X, thermo. SCIENTIFIC, Africa) was employed to analyze the composition. The maximum energy of X-ray was 40 kV.

The phase content of the surface strengthening agent and AAC were analyzed using XRD (D8 Advance. Bruker, Germany), the voltage was 35 kV and the current was 40 mA.

3.2. Mikrostruktura ABK

3.2.1. Obrazy przestrzenne ABK

Przestrzenne (3D) obrazy preparatu można otrzymać za pomocą rentgenograficznej tomografii komputerowej (15, 16). Rysunki 1 i 2 są obrazami odpowiednio 3D i 2D zwykłego i wzmocnionego ABK i pokazują rozmieszczenie defektów. Na rysunkach 1 i 2 wykorzystano różne kolory do oznaczenia defektów przez komputer. Kolory od niebieskiego do czerwonego pokazują objętości defektów od małych do dużych (17). Z rysunku 1 wynika, że jest więcej defektów powierzchniowych w zwykłym ABK niż wzmocnionym.

Jasne obszary na rysunku 2 pokazują strefy, do których przeniknęła domieszka wzmacniająca. Jest to głębokość około 3-5 mm. Mała głębokość wnikania ma dwie przyczyny: pierwsza związana jest z utworzeniem na powierzchni ABK warstewki przez domieszkę co utrudnia przenikanie. Druga jest spowodowana tym, że pory w ABK są porami zamkniętymi. Rysunek 2 stanowi potwierdzenie, że przewodność cieplna ABK wzrosła nieznacznie, gdyż tylko pory blisko powierzchni uległy wypełnieniu. Szare obszary wzdłuż zewnętrznej powierzchni zwykłego i wzmocnionego ABK pokazano na rysunku 3. Wyniki pokazane na tym rysunku wskazują wyraźnie na duże różnice występowania szarych obszarów w zwykłym i wzmocnionym ABK. Szare obszary wzrosły z około 290 w przypadku zwykłego ABK do około 500 we wzmocnionym, jednak w środkowej części próbki ulegają zmniejszeniu. Jest to dowód, że gęstość zwykłego ABK wzrosła po wzmocnieniu, co spowodowało wzrost wytrzymałości ABK.

3.2.2. Rozmieszczenie porów

Całkowita objętość porów zwykłego ABK uległa zmniejszeniu z 74,5% do 64,8% po wzmocnieniu ABK przez domieszkę. Spowodowało to wzrost wytrzymałości i gęstości. Na rysunku 4 pokazano wyznaczone z obrazu 3D objętości porów przypadające na 1 dm^3 objętości próbek. Jak wynika z diagramów pokazanych na rysunku 4 objętości porów we wszystkich przedziałach objętości wzmocnionego ABK były mniejsze od zwykłego ABK. Jest to dowodem na migrację domieszki wzmacniającej do porów o różnej objętości. Równocześnie widać, że domieszka wnika głównie do porów o objętości w przedziale od 0,01 mm^3 do 0,1 mm^3.

3. Experimental

3.1. The strength and the thermal conductivity of the strengthened AAC

The dry density, compressive and bending strength, thermal conductivity of AAC and strengthened AAC were tested. The results are listed in Table 3.

The results show that the compressive and bending strength and dry density of the strengthened AAC are increased by 33.9%, 22.9% and 24.5%, respectively, compared to the original AAC. The thermal conductivity of AAC is increased by 7.05% after AAC strengthening. Although the thermal insulation property of AAC is decreased, the thermal conductivity of the strengthened AAC is only 0.0733 W/(m·K). It means that the strengthened AAC has still a good thermal insulation property.

3.2. XCT analysis

3.2.1. Three-dimension reconstruction of AAC

Three-dimension (3D) images of an object can be set up by X-ray computed tomography (15, 16). Figs. 1 and 2 are 3D and 2D images of the original AAC and the strengthened AAC, respectively. They reflect internal microstructure of AAC and distribution of defects. In Figs. 1 and 2, various colors are used to reflect defects by computer. The color from blue to red represents the defect volumes from small to large (17). Fig. 1 shows that there are more surface defects in the original AAC than in the strengthened AAC. It indicates that most of the surface defects of the original AAC are repaired by the surface strengthening agent.

The bright area in Fig. 2 represents the permeation area of the surface strengthening agent. The permeation depth is about 3~5 mm. The low permeability depth is due to two reasons. One is that the surface strengthening agent forms film on the surface of AAC which hindered the permeation to continue. The other reason is that the most pores in AAC are closed pores. Fig. 2 is acknowledging that the thermal conductivity of AAC is increased slightly since the pores around surface are only filled.

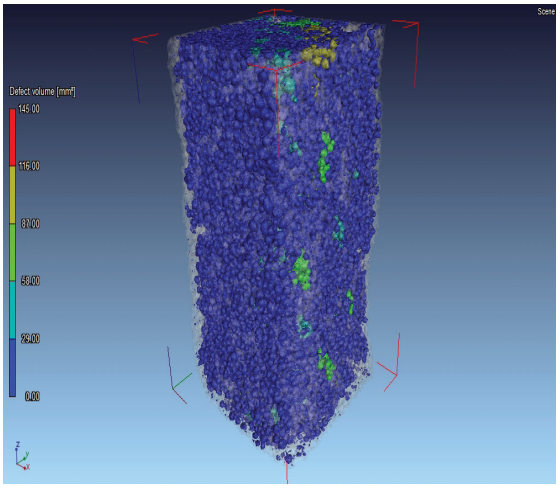
The gray value means the color depth of points in the black-and-white photograph. The gray value along the external surface of

Tablica 3 / Table 3

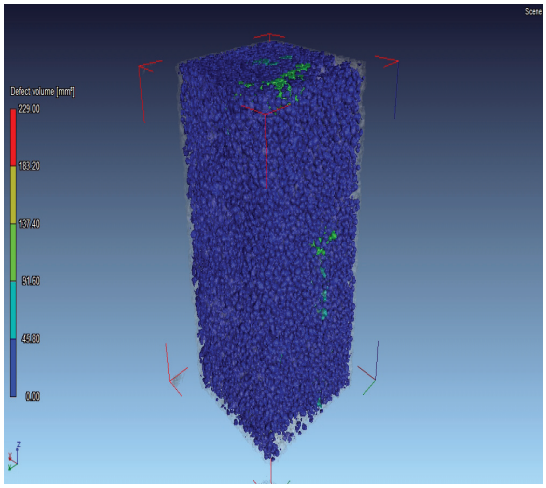
GĘSTOŚĆ, WYTRZYMAŁOŚĆ I PRZEWODNOŚĆ CIEPLNA ABK

DENSITY, STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY OF AAC

Właściwości / Properties — Próbki / Samples	Gęstość Density kg/m^3	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength	Wytrzymałość na zginanie Bending strength	Przewodność cieplna Thermal conductivity W/m·K
Zwykły ABK Ordinary AAC	311.0	1.03	0.61	0.069
Wzmocniony ABK Strengthened AAC	387.2	1.38	0.75	0.0739



(a) Zwykły/Ordinary AAC



(b) Wzmocniony/Strengthened AAC

Rys. 1. Rozmieszczenie defektów na obrazie 3D

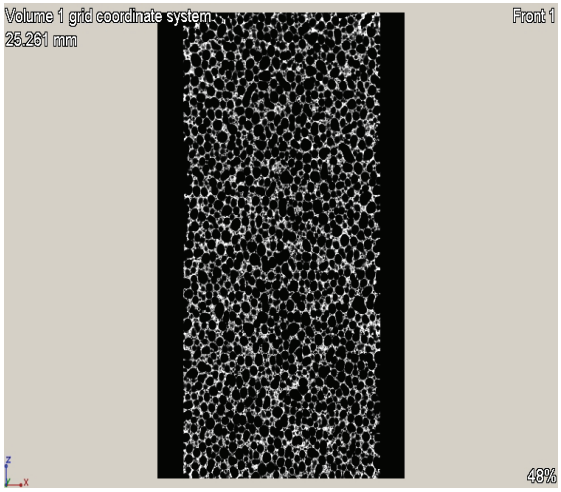
Fig. 1. The distribution of defects in 3D images of the ordinary and strengthened AAC

3.3. Badania za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego

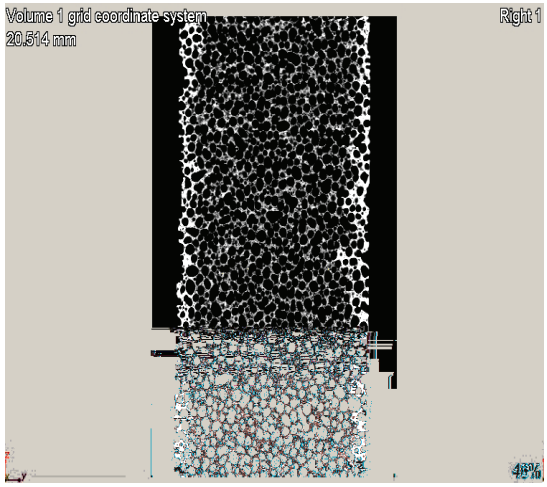
Na rysunku 5 pokazano przykładowo obrazy mikrostruktury zwykłego i wzmocnionego ABK. W mikrostrukturze zwykłego ABK są widoczne włókniste kryształy C-S-H (rysunek 5a). Natomiast na rysunku 5b widać, że powierzchnia próbki wzmocnionego ABK została pokryta warstewką domieszki. Domieszka wypełniła pory oraz zmniejszyła liczbę defektów na powierzchni próbki.

3.4. Rentgenogram i skład chemiczny wzmacniającej domieszki

Rentgenogram domieszki wzmacniającej pokazano na rysunku 6; stanowi on dowód że jest ona amorficzna. Jej skład chemiczny pokazany w tablicy 4 wykazuje, że jest to uwodniony krzemian potasu. Natomiast badania rentgenowskie nie wykazały żadnych różnic jakościowych w składzie fazowym ABK wzmocnionego i zwykłego. Głównymi składnikami są kwarc, kalcyt i anhydryt, które obok żelku cementowego są typowymi fazami w ABK (18).



(a) Zwykły/Ordinary AAC



(b) Wzmocniony/Strengthened AAC

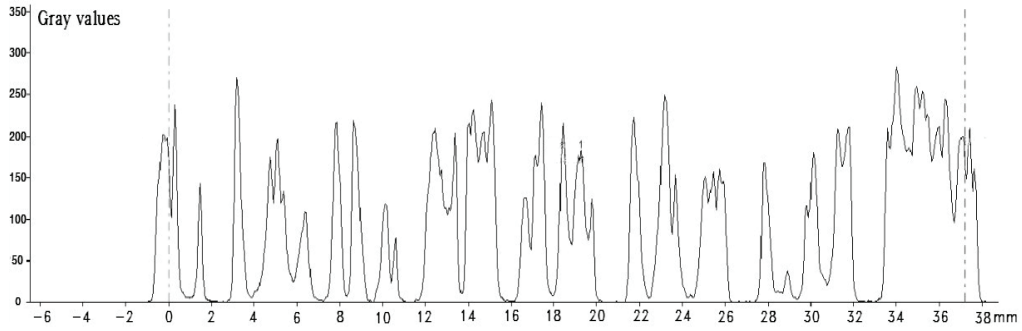
Rys. 2. Rozmieszczenie defektów w zwykłym i wzmocnionym ABK; obraz 2D

Fig. 2. The distribution of defects on 2D images in the ordinary and strengthened AAC

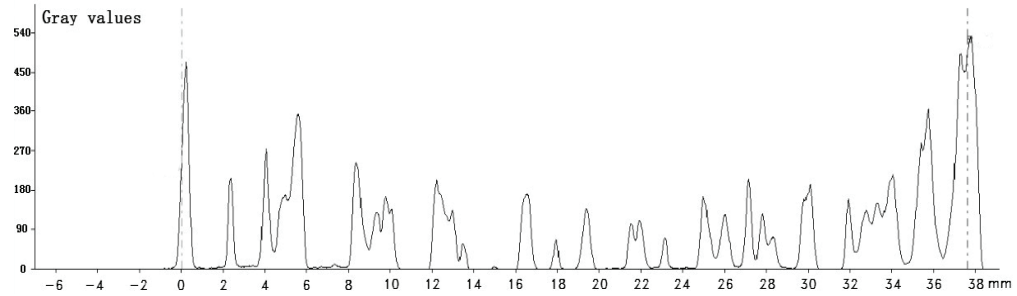
the original and Strengthened AAC are shown in Fig. 3. It is evident that the difference between surface gray value of the original and the Strengthened AAC is high. The maximum gray values on the surface of the original AAC were increasing from 290 to nearly 500 after strengthening, but in the middle part of surface were decreasing. It is a proof that the density of the original AAC was increased after the strengthening. As a result, the compressive and bending strength of the original AAC were improved.

3.2.2. Distribution of pores volume

The total pores volume of original AAC was reduced from 74.5% to 64.8% after the original AAC was strengthened by the surface strengthening agent. It contributes to the increase of strength and density. Fig. 4 gives the 3D defect volume count numbers per dm^3 of volume of samples. Figure 4 showed that the counts of pores in all ranges of the strengthened AAC were lower than that of the original AAC. This indicated that the surface strengthening agent were migrating into the pores with different volumes of the original



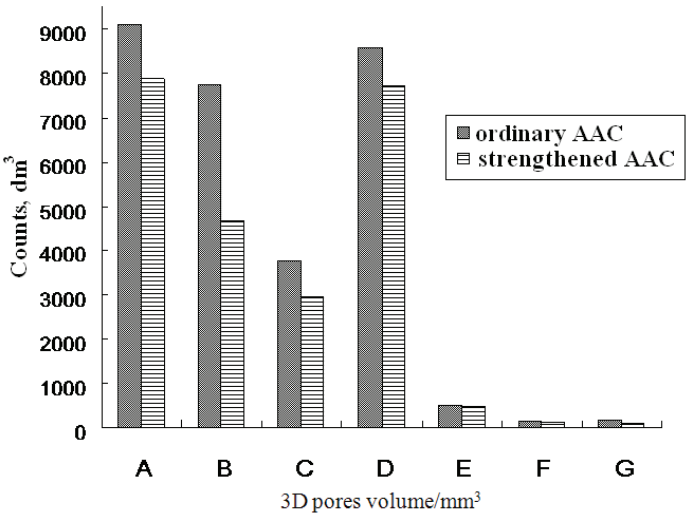
Zwykły/Ordinary AAC



Wzmocniony/Strengthened AAC

Rys. 3. Szare obszary w zwykłym i wzmocnionym ABK

Fig. 3. The gray value of the ordinary AAC and the strengthened AAC



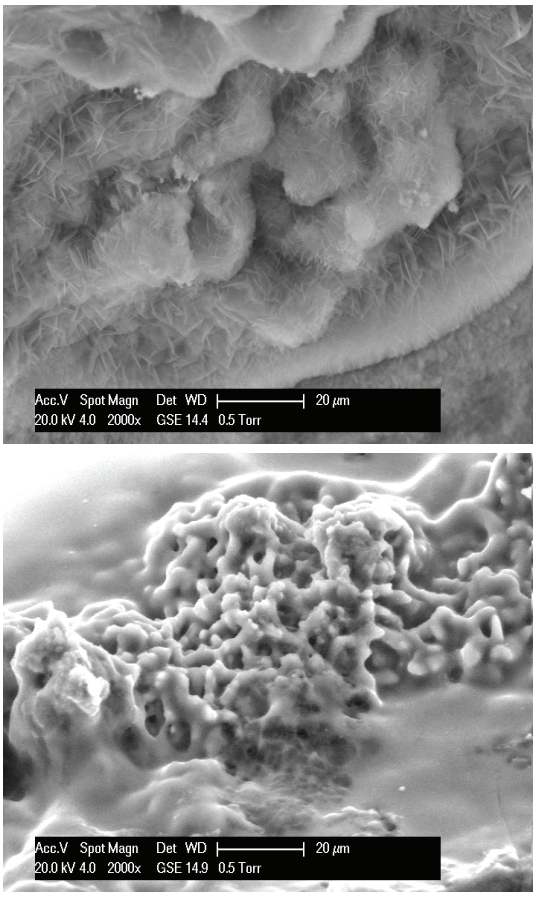
Rys. 4. Objętości porów zwykłego i wzmocnionego ABK w przedziałach: A - 0.003~0.01 mm^3; B - 0.01~0.1 mm^3; C - 0.1-1 mm^3; D - 1~10 mm^3; E - 10~20 mm^3; F - 20~30 mm^3; G - 30~150 mm^3

Fig. 4. The count numbers of pores of the ordinary and the strengthened AAC in the range: A - 0.003~0.01 mm^3; B - 0.01~0.1 mm^3; C - 0.1-1 mm^3; D - 1~10 mm^3; E - 10~20 mm^3; F - 20~30 mm^3; G - 30~150 mm^3

4. Wnioski

Do modyfikacji ABK za pomocą domieszki wzmacniającej zastosowano metodę impregnacji. Spowodowała ona następujące zmiany właściwości ABK:

1) Wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz gęstość uległy zwiększeniu odpowiednio o 33% i 22% oraz o około 24%



Rys. 5. Mikrostruktura zwykłego i wzmocnionego ABK

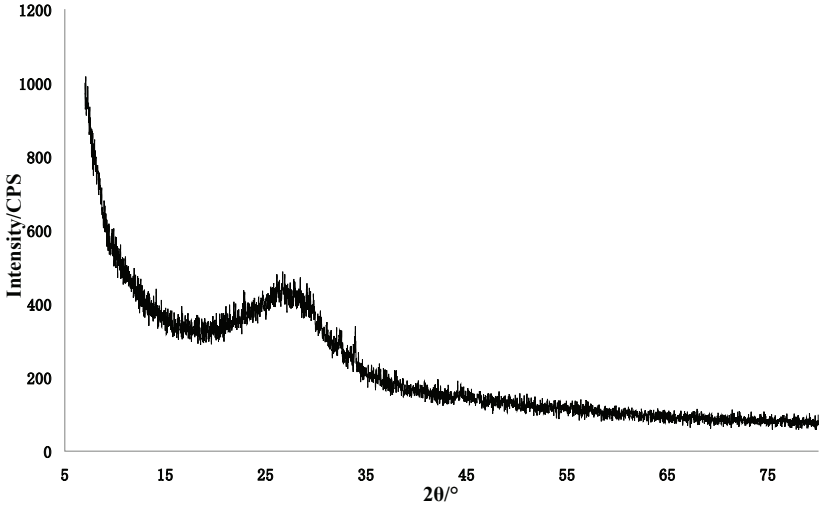
Fig. 5. The microstructure of the ordinary and the srengthened AAC

Tablica 4 / Table 4

Skład chemiczny domieszki wzmacniającej

The chemical composition of the surface strengthening agent

Składniki /Elements	Procent masowy Weight percentage, %
Sód / Sodium, Na	1.9
Potas / Potassium, K	45.22
Krzem / Silicon, Si	52.49
Żelazo / Ferrum, Fe	0.37
Bar / Barium, Ba	0.056



Rys. 6. Rentgenogram domieszki wzmacniającej

Fig. 6. XRD pattern of the surface strengthening agent

w porównaniu ze zwykłym ABK. Przewodność cieplna także uległa zwiększeniu.

2) Głębokość wnikania domieszki wzmacniającej wynosiła od 3 do 5 mm. Większość defektów powierzchniowych została usunięta.
3) Nie zaszły reakcje chemiczne w ABK z domieszką wzmacniającą. Tworzy ona jednie cienką warstewkę na powierzchni betonu oraz wypełnia pory blisko powierzchni.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania za wsparcie finansowe Ministerstwu Nauki Chin oraz Ministerstwu Rozwoju Budownictwa Chin.

Literatura / References

1. R. Wang, R. H. Chen, W.R high performance aerated concrete block self-thermal conservation technology, Wall Materials Innovation & Energy Saving in Buildings, **12**, 33-35 (2008).

2. X. Q. Peng, G. H. QI, Research on Preparation of Non-Autoclaved Aerated Concrete with Phosphorus Slag, Journal of Chongqing Jianzhu University, **30,** 4, 132-135 (2008).

3. N. Narayanan, Ramamurthy, K. [2000] "Structure and properties of aerated concrete: a review," Cement and Concrete Composites 22, 321-329.

AAC. In addition, the surface strengthening agent mainly fills the pores with volume between 0.01 mm^3 and 0.1 mm^3.

3.3. ESEM analysis

On the Fig. 5 the example of the microstructure of the original and strengthened AAC is shown. The needle crystals of hydrated calcium silicate could be seen in Fig. 5 (a). However, Fig. 5 (b) shows that the surface of the sample was covered by a film of the strengthening agent. The film fills some pores and is decreasing some defects on the surface.

3.4. XRD and XRF analysis

XRD pattern of the surface strengthening agent shown in the Fig. 6 is a proof that it is an amorphous substance.

The chemical composition of surface strengthening agent was also determined and the result which is listed in Table 4, is showing that it is composed of silica and potassium. Thus the surface strengthening agent is the potassium silicate.

XRD examination does not show any differences in qualitative phase composition of AAC and the strengthened AAC. The main components are quartz, calcite and anhydrite, which, apart from cement gel, are typical phases of AAC (18).

4. Conclusions

The modification of AAC by the surface strengthening agent by the impregnation method cause the following changes of this concrete:

The compressive and bending strength as well as density of the strengthened AAC are increased compared to the original AAC. The thermal conductivity of strengthened AAC is increased too.

2) migration depth of the surface strengthening agent is about 3-5 mm. Most of the surface defects of the original AAC are repaired by this admixture.
3) There is no chemical reaction between AAC and the surface strengthening agent. The strengthened mechanism of the admixture is the film formation and the pores filling near the surface.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support for this research from Open fund of Key laboratory of C&PC structures, ministry of education, 12th Five Years Key Programs for Science and Technology Development of China (2011BAJ03B11-3) and Science and technology project of Ministry of Housing and Urban--Rural development of China (2011-k1-40).

4. B. T. Ilker, S. Mustaf, Prediction of properties of AAC aggregate concrete using artificial neural network, Computational Materials Science**, 41**, 117-125 (2007).

5. X. P. Chen, Trial-production of Ceramisite-reinforced Aerated Concrete Block and Experiment of Masonry Performance, Zhejiang University Press, 2006.

6. Y. B. Yang, X. M. Wu, Research of modified polypropylene fiber applied in fly ash AAC, Concrete, 2006.

7. L. X. Ma, Technical study of brucite fiber AAC, Chang'an University Press, 2007.

8. A. Mohammed, N. U. Mousa, [2009] "Experimental and analytical study of carbon fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclaved aerated concrete (AAC) sandwich panels," Engineering Structures, **31**, 2237-2344 (2009).

9. A. Laukaitis, J. Keriene, Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products, Constr. Build. Mat., **23,** 3034-3042 (2009).

10. J. Y. Qian, Research on application of polymer impregnated concrete in hydropower engineering repair, HUST Press, 2005.

11. T. C. Zhou, Development of aerated concrete of fly ash added with high polymers, Journal of Anhui Institute of Mechanical & Electrical Engineering, **16**, 1, 712-74 (2001).

12. N. Y. Mostafa, Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete, Cem. Concr. Res., **35,** 1349-1357 (2005).

13. N. Narayanan, K. Ramamurthy, Microstructural investigations on aerated concrete, Cem. Concr. Res., **30**, 457-464 (2000).

14. K. Cenk, Utilization of natural zeolite in aerated concrete production, Cem. Concr. Comp., **32**, 1-8 (2010).

15. T. Rougelot, N. Burlion, D. Bernar, About microcracking due to leaching in cementitious composites: X-ray microtomography description and numerical approach, Cem. Concr. Res., **40**, 271–283 (2010).

16. S. Mori, M. Endo, S. Komatsu, A combination-weighted Feldkamp--based reconstruction algorithm for cone-beam CT, Phys. Med. Biology., **51**, 16, 3953–3965 (2006).

17. J. D. Han, G. H. Pan, W. Sun, Investigation on Carbonation Induced Meso-Defects Changes of Cement Mortar Using 3D X-Ray Computed Tomography, Journal of the Chinese Ceramic Society, **39**, 1, 75-79 (2011).

18. K. Hulya, C. Thomas, Microstructural investigations of naturally and artificially weathered autoclaved aerated concrete, Cem. Concr. Res., **33**, 1423-1432 (2003).