Third International Workshop on Concrete Block Paving, Cartagena de Indias, Colombia, May 10-13, 1998
Tercer Taller Internacional de Pavimentación con Adoquines de Concreto, Cartagena de Indias, Colombia, Mayo 10-13, 1998

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH WATER PERMEABLE INTERLOCKING BLOCK [1] [2]

Kiyoharu HARASHIMA

OKUTAMA INDUSTRIES CO., LTD.
Tokyo, Japan

Junji NISHI

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokyo, Japan

Masayuku UENO

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokyo, Japan

Takashi TAKADA

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokyo, Japan

1. INTRODUCTION

In Japan recently, people are becoming more and more conscious of global environmental issues and tend to attach more importance to landscape and environment when urban development is carried out. Drainage pavement which is kind to living environment is calling more attention and drainage pavement for motorways using water permeable asphalt and water permeable concrete is rapidly spreading.

Under these circumstances, the authors tried to develop high strength water permeable Interlocking blocks (hereinafter referred to as IL blocks) which meet required properties for motorways applying porous concrete technology developed by Nihon Cement using a special admixture called "Asano Pore Mix" in order to apply IL blocks to drainage pavement for motorways. This paper reports on an outline of the optimal mixture in the laboratory test and of actual production line test in the series of research and development.

2. OUTLINE OF THE TEST

2.1 REQUIRED PROPERTIES

The required properties for high strength water permeable IL blocks are shown in Table 1.

2.2 MATERIALS USED

The materials used in this test are shown in Table 2.

2.3 TEST ITEM AND TEST METHOD

The test item and the method are shown in Table 3.

3. LABORATORY TEST

The aim of this test was to find out the optimal mixture which satisfies the required properties by examining how the unit content of binder, additions of Asano Pore Mix and air voids influence bending strength and water permeability. Though IL blocks are consisted of two layers, namely, the surface layer and the base layer, the mixture of the base layer which occupies 90 % of a block was changed in this test leaving the surface layer unchanged.

3.1 MIXTURE CONDITION

The mixture condition is shown in Tables 4 and 5. Coarse aggregate used was 1:1 mixture of crushed stone #6 and #7 respectively and Asano Pore Mix was mixed as part of the cement.

3.2 MIXING METHOD

Mixing was carried out according to the flow-chart shown in Figure 1 using a 20 l mortar mixer to mix 15 l in a batch.

3.3 PRODUCTION METHOD

The IL block was produced in such a way that density of mixed concrete is measured so that it complies with the set ratio of air voids considering the unit content of the mixture. Then it was cast into the test IL block molder to de-mold immediately. After vibrating and compressing, unit it reaches the fixed height. It was cured in air (in the laboratory at 20 °C) until it got to the set age.

3.4 TEST ITEM

[1] The editors used the International System of Units (SI) in this book of Proceedings, and the comma "," as the Decimal Marker. Each paper is presented first in English and then in Spanish, with the Tables and Figures, in both languages, placed in between.

[2] This is the original version of this paper.

The test items are following three items and carried out subject to the test method described in Table 3.

1. Air voids measuring test.
2. Water permeability test.
3. Bending strength test.

3.5 AIR VOIDS, WATER PERMEABILITY AND BENDING STRENGTH TESTS

The mixing conditions and the test results of the IL block are shown in Table 6 and Figures 2 to 4.

1. Figure 2 shows the bending strength test result of cement only. The unit content of cement was changed in 4 ranges from 400 to 550 kg/m^3 but it was found that the quantity of cement did not at all affect bending strength. It is recognized, however, that the unit content of cement of 500 kg/m^3 is required taking compression of concrete into consideration. It was also found out that the unit content of cement did not affect coefficient of water permeability and continuous ratio of water voids.
2. The influence of addition of Asano Pore Mix at the unit content of binder of 500 kg/m^3 is shown in Figure 3 according to which is was recognized that there is significant difference between bending strength and additions of Asano Pore Mix and that though water permeability is equal, the additions are increased the more, the higher is the strength increase. 90 kg/m^3 addition of Asano Pore Mix achieved the target bending strength.
3. The influence of the target ratio of air voids and bending strength for the unit content of binder of 450 kg/m^3 and 550 kg/m^3 with 60 kg/m^3 of Asano Pore Mix added is shown in Figure 4 according to which it was recognized that there is significant difference between bending strength and target bending strength and that it was necessary to set target bending strength at around 12 % in order to achieve target bending strength.

As the result, it was found out that the mixtures No. 7 and No. 11 are the mixtures to satisfy the required properties but No. 11 is considered to be the best when economic aspect is taken into consideration.

4. ACTUAL PRODUCTION LINE TEST

Since the mixing conditions to satisfy the required properties were determined as the result of the laboratory test, the test was carried out to verify whether or not high strength IL blocks could be manufactured on the actual production line.

4.1 OUTLINE OF THE TEST

1. Test Productions: 150 m^2 (1 m^2 = 1 pallet = 40 blocks).
2. Property Test: Random sampling from 3 pallets.
3. Mixture: The mixture for high strength IL block is shown in Table 7. The base concrete mix is taken from No. 11 of 3 laboratory test Table 5.

4.2 TEST ITEM

The test items are the following 4 items and carried out subjected to the test method described in Table 3.

1. Water permeability test.
2. Bending strength test.
3. Wearing test.
4. Skit resistance test.

4.3 TEST RESULT

4.3.1 WATER PERMEABILITY AND BENDING STRENGTH

The results of water permeability and bending strength tests are shown in Table 8 from the result of which it was found out that IL blocks manufactured on the actual molding machine fully satisfy the required properties (Bending Strength: 6,0 MPa, Coefficient of Water Permeability; 1 100 mm/s).

The bending strength deviation at the age of 28 d is average 8,9 % in Fluctuation Coefficient and it did not differ too much from that of normal IL blocks.

4.3.2 WEARING TEST RESULT

The worn depth was measured every 10 min for 60 min from the start of the test. The result is shown in Table 9.

The worn depth tends to increase almost in the straight line as time passes. The worn depth was 0,007 mm/min and is small as compared minutewise with that of normal IL blocks and showed a tendency that its skid resistance is good. It is supposed to be that coarse aggregate is exposed on the surface.

4.3.3 SKID RESISTANCE TEST RESULT

Skid resistance was the average value of 5 times measurements with each 3 test pieces. The test result of skid resistance is shown in Table 10.

Since there is no Japanese standard, the skidding level (skid resistance on the wet road surface) was compared in the standard of British Road research Center (Instructions of Skid Resistance) as shown in Table 11 and it fell on the category A "Good" skid resistance.

5. CONCLUSION

1. High strength IL blocks satisfying the required properties (bending strength: 6,0 MPa, Coefficient of Water Permeability: 1 100 mm/s, Asano Pore Mix: 60 kg/m^3) can be manufactured by setting the unit content of binder at 500 kg/m^3 (Cement: 440 kg/m^3, Asano Pore Mix: 60 kg/m^3) and the ratio of air voids at 12 %.

2. Wear and skid resistance are equal to normal IL blocks.
3. The bending strength deviation of IL blocks within the same pallet is equal to normal IL blocks with the fluctuation coefficient of 8,6 % to 9,2 %.
4. High strength IL blocks could be manufactured on the conventional block molding machine without any problems.

At present, such kinds of test as verify performance and long term durability of pavement using high strength IL blocks and establish the maintenance method for air void stuffing have to be done.

ITEM *ITEM*	REQUIRED PROPERTIES *PROPIEDADES REQUERIDAS*	CONVENTIONAL JAPANESE STANDARD [1,2] *NORMA CONVENCIONAL JAPONESA* [1, 2]	
		WATER PERMEABLE IL BLOCKS *PERMEABILIDAD DEL AGUA DE LOS ADOQUINES PERMEABLES*	NORMAL IL BLOCKS *ADOQUINES NORMALES*
Bending strength (MPa) *Resistencia a la flexotracción*	More than 4,9 (target of bending strength = 6) *Más de 4,9 (Resist. a la flexotracción buscada = 6)*	More than 2,9 *Más de 2,9*	More than 4,9 *Más de 4,9*
Coefficient of water permeability (mm/s) *Coeficiente de permeabilidad del agua*	More than 1×10^{-1} *Más de 1×10^{-1}*	More than 1×10^{-2} *Más de 1×10^{-2}*	--
Others *Otros*	Durability identical or better than normal IL blocks *Durabilidad idéntica o mejor que la de los adoquines normales*	--	--

[1] Interlocking Block Pavement Engineering Association. Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual.
[2] Interlocking Block Pavement Engineering Association. Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual (for Motorways).

Table 1. Required Properties for high Strength Water Permeable IL Blocks.
Tabla 1. *Propiedades requeridas para los Adoquines Permeables de Alta Resistencia.*

MATERIAL *MATERIAL*	MARK *SÍMBOLO*	BRAND NAME *DENOMINACIÓN*	DENSITY (T/M^3) *DENSIDAD*	WATER ABSORPTION(%) *ABSORCIÓN DE AGUA*
Cement *Cemento*	C	Asano normal Portland cement *Cemento Pórtland normal marca Asano*	3,15	--
Admixture *Aditivo*	PM	Asano Pore Mix *Asano Pore Mix*	2,78	--
Coarse Aggregate *Agregado grueso*	G1	Crushed stone # 6 (5 to 15 mm) *Roca triturada # 6 (5 a 15 mm)*	2,65 (surface-dry) *2,65 (superficialmente seco)*	0,48
	G2	Crushed stone # 7 (2,5 to 5 mm) *Roca triturada # 7 (2,5 a 5 mm)*	2,65 (surface-dry) *2,65 (superficialmente seco)*	0,48

Table 2. Materials Used.
Tabla 2. *Materiales utilizados.*

N *NO.*	TEST ITEM *ENSAYO*	TEST METHOD *MÉTODO DE ENSAYO*	REMARK *ANOTACIÓN*
1	Air voids *Vacíos*	Subject to the volumetric method of The Air Voids Method for Porous Concrete (draft) by Concrete Research Committee in Japan Concrete institute *Sujeto al método volumétrico del borrador del Método de los vacíos de aire para concreto poroso, del Comité de Investigación del Concreto el Instituto Japonés del Concreto*	Measuring continuous air voids *Medición de vacíos continuos*
2	Water permeability *Permeabilidad de agua*	Subject to the water permeability test method in Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual *Sujeto al ensayo de permeabilidad del Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual*	
3	Bending strength *Resistencia a la flexotracción*	Subject to the bending strength test method in Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual *Sujeto al método de ensayo de adoquines a la flexotracción del Interlocking Block Pavement Design and Construction Manual*	Sample age: 7 and 28 d *Edad de la muestra: 7 y 28 d*
4	Wear *Desgaste*	ASTM C 779 (Shmantacker dry type wearing tester) *ASTM C 779 (Ensayo de desgaste seco tipo Shmantacker)*	Sample age 28 days Sample age: 28 d *Edad de la muestra: 28 d*
5	Skid resistance *Resistencia al deslizamiento*	ASTM E 303.69T	Sample age: 28 d *Edad de la muestra: 28 d*

Table 3. Test Item and Test Method.
Tabla 3. *Ensayo y método de ensayo.*

MIXTURE *MEZCLA*		UNIT CONTENT (kg/m^3) *CONTENIDO UNITARIO*			COLORING AGENT *COLORANTE*
W/P (%)	Target Air Content (%) *Contenido de aire buscado*	C	W	G	
29,9	10	448	134	1 611	C x 3 %

Table 4. Surface Layer Mixture.
Tabla 4. *Mezcla de la capa superficial*

CONTENT OF BINDER (kg/m^3) *CONTENIDO DE LIGANTE*	AIR VOIDS (%) *VACÍOS DE AIRE*	UNIT CONTENT OF PORE MIX (kg/m^3) *CONTENIDO DE PORE MIX*			
		0	30	60	90
400	15	**1**	--	--	--
450	12	--	--	**10**	--
	15	**2**	--	**3**	--
500	12	--	--	**11**	--
	15	**4**	**5**	**6**	**7**
550	15	**8**	--	**9**	--

Table 5. Factor and Level of the Base Mixture.
Tabla 5. *Factor y nivel de la mezcla de base.*

MIXING N *NÚMERO DE LA MEZCLA*	MIXING CONDITIONS *CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA*		TEST RESULT *RESULTADOS DE LOS ENSAYOS*			
	UNIT CONTENT OF BINDER *CONTENIDO DE LIGANTE* (kg/m³)	TARGET RATIO OF AIR VOIDS *RELACIÓN DE VACÍOS BUSCADA* (%)	CONTINUOUS RATIO OF AIR VOIDS *RELACIÓN DE VACÍOS CONTINUA* (%)	COEFFICIENT OF WATER PERMEABILITY / *COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE AGUA* (mm/s)	BENDING STRENGTH (MPa) *RESISTENCIA AL LA FLEXOTRACCIÓN*	
					7 DAYS *7 DÍAS*	28 DAYS *28 DÍAS*
1	400 (0)	15	14,2	0,3	3,4	3,8
2	450 (0)	15	14,8	1,4	3,3	3,9
3	450 (60)	15	13,1	1,5	4,5	5,0
4	500 (0)	15	14,5	1,1	3,4	3,8
5	500 (30)	15	14,5	1,4	4,2	4,9
6	500 (60)	15	13,4	1,5	4,9	5,5
7	500 (90)	15	12,5	1,6	5,3	6,0
8	550 (0)	15	14,2	1,4	3,5	4,1
9	550 (60)	15	13,6	1,4	4,8	5,6
10	450 (60)	12	10,5	1,4	5,0	5,7
11	500 (60)	12	9,6	1,2	5,4	6,2

Table 6. Test Result (Air voids, water permeability and bending strength).
Tabla 6. *Resultados de los ensayos (Contenido de aire, permeabilidad del agua y resistencia a la flexotracción).*

KIND *TIPO*	MIXTURE / *MEZCLA*			UNIT CONTENT (kg/m³) / *CONTENIDO*				
	M/G (%)	W/P (%)	TARGET AIR CONTENT (%) /*CONTENIDO DE AIRE BUSCADO*	C	PM	W	G #6	G #7
Base Layer *Capa de base*	39,9	18,4	12	440	60	92	842	842
Surface Layer *Capa superficial*		29,9	10	448	--	134	--	1 611

Table 7. Mixture for High Strength IL block.
Tabla 7. *Mezcla para adoquines de alta resistencia.*

NO.	COEFFICIENT OF WATER PERMEABILITY (cm/s) / *COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE AGUA*	BENDING STRENGTH (N/mm²) *RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN*		FLUCTUATION COEFFICIENT *COEFICIENTE DE VARIACIÓN* (%)
		7 DAYS *7 DÍAS*	28 DAYS *28 DÍAS*	
1	0,12	6,2	7,0	8,6
2	0,12	5,9	6,9	8,9
3	0,12	5,7	6,5	9,2
Average *Promedio*	0,12	5,9	6,6	8,9

Note: The fluctuation coefficient is for bending strength at the age of 28 d.
Nota: El coeficiente de variación es para la resistencia a la flexotracción, a los 28 d.

Table 8. Test Result (water permeability, bending strength).
Tabla 8. *Resultado de los ensayos (permeabilidad de agua, resistencia a la flexotracción)*

ITEM / *ITEM*	WEARING TIME (min) / *TIEMPO DE DESGASTE*						REFERENCES VALUE FOR NORMAL IL BLOCKS / *VALOR DE REFERENCIA PARA ADOQUINES NORMALES*
	10	20	30	40	50	60	
Worn depth (mm) *Profundidad de desgaste*	0,08	0,15	0,22	0,26	0,35	0,42	0,025 (mm/min)
	0,077 (mm/min)						

Table 9. Wearing Test Result.
Tabla 9. *Resultado del ensayo de desgaste.*

ITEM / *ITEM*	TEST PIECE 1 / *ESPÉCIMEN 1*	TEST PIECE 2 / *ESPÉCIMEN 2*	TEST PIECE 3 / *ESPÉCIMEN 3*
Skid resistance ***Resistencia al deslizamiento***	73	69	68
Average / *Promedio*	70		

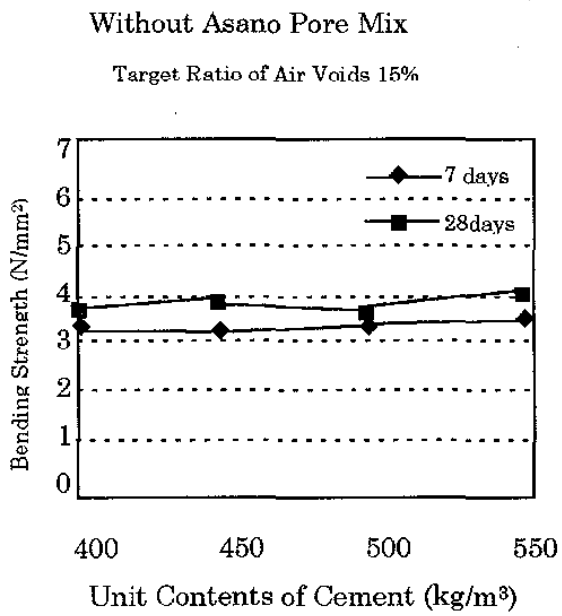
Table 10. Skid Resistance Test result (B.P.N.).
Tabla 10. *Resultados del enayo de resistencia al deslizamiento (B.P.N.)*

CATEGORY	SITE SITUATION	SKID RESISTANCE ON THE WET ROAD SURFACE	SKID RESISTANCE STANDARD
A	Very difficult place (1) Rotary (2) Narrow road with curvature of less than R 500 ft (3) 1/20 or more slope with more than 100 yard distance (4) Narrow road near traffic signals	More than 65	Good: Place to satisfy necessary requirements at high speed traveling and not to repeal slipping and accidents
B	Road or situation not classified in the general requirement that is A and C categories	More than 55	Reasonable in general; places to meet every condition except the most dangerous situations roads can encounter with
C	Easy location with straight road mild grade and curve without crossing and special conditions (mixed traffic and danger to cause emergency situation)	More than 45	Reasonable only in good conditions
D	General place	Less than 45	Possible to skit
CATEGORÍA	***CONDICIÓN DEL SITIO***	***RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN SUPERFICIE HÚMEDA DE VÍA***	***RESISTENCIA ESTÁNDAR AL DESLIZAMIENTO***
A	*Muy difícil* *(1) Giro* *(2) Vía estrecha con curva con R < 152,5 m* *(3) Pendiente ≥ 1/20 a lo largo de 90 m* *(4) Vía estrecha cerca de semáforos*	*Más de 65*	*Buena: Lugar para satisfacer los requisitos necesarios para viajes a alta velocidad y no* ***to repeal*** *deslizamientos y accidentes*
B	*Vía o situación no clasifica dentro de las categorías A y C de los requisitos generales*	*Más de 55*	*Razonable en general: Lugares que cumplen con todas las condiciones excepto las situaciones más peligrosas que se puedan encontrar en cuna vía*
C	*Lugar fácil con vía recta, pendiente y curva suave, sin cruce ni condiciones especiales (tráfico mezclado y peligro por detención por situación de emergencia)*	*Más de 45*	*Razonable sólo en buenas condiciones*
D	*Lugar general*	*Menos de 45*	*Es posible deslizarse*

Table 11. Required Skid Resistance recording Level Instructions by Portable Tester (R.R.L).
Tabla 11. *Registro de la resistencia al deslizamiento requerida, leída con el medidor portátil R.R.L.*

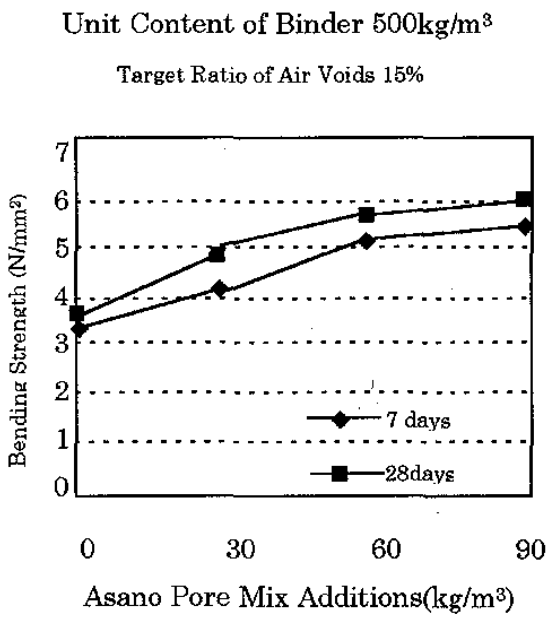
Cement	Asano Pore Mix	Coarse aggregate	dry mixing for 2 min	Water	2 min	Dumping
Cemento	*Pore Mix Asano*	*Agregado grueso*	*mezclado seco por 2 min*	*Agua*	*2 min*	*Entrega*

Figure 1. Mixing method.
Figura 1. *Método de mezclado.*



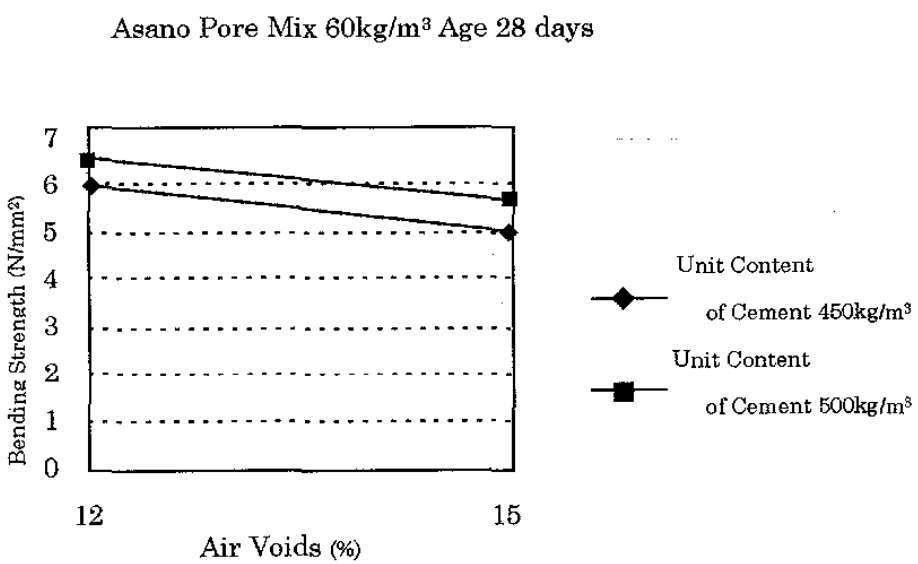
ESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MPa) vs CONTENIDO UNITARIO DE CEMENTO (kg/m³)
Without Asano Pore Mix / *Sin Asano Pore Mix* - Target Ratio of Air Voids / *Relación de vacíos buscada* - Days / *días.*

Figure 2. Relationship between Unit Content of Cement and Bending Strength (without Asano Pore Mix; Target Ratio of Air Voids: 15 %).
Figura 2. *Relación entre el contenido unitario de cemento y la resistencia a la flexotracción (sin Mezcla Asano Pore; Relación de vacíos buscada: 15 %).*



RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MPa) vs CONTENIDO DE ASANO PORE MIX (kg/m³)
Unit content of Binder / *Contenido unitario de cementante* - Target Ratio of Air Voids / *Relación de vacíos buscada* - Days / *días.*

Figure 3. Relationship between Asano Pore Mix and Bending Strength (Unit Content of Binder: 500 kg/m³; Target Ratio of Air Voids: 15 %).
Figura 3. *Relación entre la Mezcla Asano Pore y la resistencia a la flexotracción (Contenido unitario de ligante: 500 kg/m3; Relación de vacíos buscada: 15 %).*



RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MPa) vs VACÍOS DE AIRE (%)
Age 28 days / *Edad 28 días* - Unit content of Cement / *Contenido unitario de cemento.*

Figure 4. Relationship between Air Voids and Bending Strength adding Unit Content of Asano Pore Mix of 60 kg/m³; Age: 28 d.
Figura 4. *Relación entre los vacíos de aire y la resistencia a la flexotracción adicionando 60 kg/m3 de la Mezcla Asano Pore; Edad: 28 d.*

DESARROLLO DE ADOQUINES DE ALTA RESISTENCIA PERMEABLES AL AGUA [3] [4]

Kiyoharu HARASHIMA

OKUTAMA INDUSTRIES CO., LTD.
Tokio, Japón

Junji NISHI

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokio, Japón

Masayuku UENO

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokio, Japón

Takashi TAKADA

NIHON CEMENT CO., LTD.
Tokio, Japón

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la gente en Japón está siendo cada vez más consciente de los problemas ambientales globales, y tiende a atribuir mayor importancia al paisaje y al medio ambiente, cuando se trata del desarrollo urbano. El pavimento drenante, que es amigable con el medio ambiente vital, está llamando más la atención. Además, se está expandiendo rápidamente el pavimento de drenante en vías que utilizan concreto asfáltico y concreto hidráulico permeables al agua.

En estas circunstancias, los autores trataron de desarrollar adoquines de alta resistencia, permeables al agua, (mencionados de ahora en adelante como adoquines permeables), los cuales cumplen las propiedades requeridas para las vías que utilizan la tecnología de concreto poroso, desarrollada por Cemento Nihon, mediante el empleo del aditivo "Asano Pore Mix". Lo anterior, con el fin de utilizar adoquines permeables en pavimentos drenantes para automotores. Esta ponencia presenta un informe sobre un esquema de mezcla óptima según los ensayos de laboratorio y de ensayos en la línea de producción en las series de investigación y desarrollo.

2. ESQUEMA DE LA PRUEBA

2.1 PROPIEDADES REQUERIDAS

Las propiedades requeridas para adoquines de alta resistencia, permeables al agua, se muestran en la Tabla 1.

2.2 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales utilizados en esta prueba se muestran en la Tabla 2.

2.3 ENSAYO Y MÉTODO DE PRUEBA

El ensayo y la prueba se muestran en la Tabla 3

3. ENSAYO DE LABORATORIO

La finalidad de este ensayo fue encontrar el aditivo óptimo para satisfacer las condiciones requeridas, examinando de qué manera el contenido unitario de ligante, la adición de Asano Pore Mix y de vacíos, influyen en la resistencia a la flexotracción y la permeabilidad al agua. Aunque los adoquines permeables están constituidos por dos capas, a saber, la capa de superficie y la capa de base, el aditivo de la capa de base, la cual ocupa el 90% del adoquín, se cambió en este ensayo dejando la capa de la superficie sin ningún cambio.

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ADITIVO

La característica del aditivo se muestra en las Tablas 4 y 5. El agregado grueso utilizado fue la mezcla en iguales proporciones de roca triturada No. 6 y No. 7 respectivamente; y el Asano Pore Mix se mezcló como parte del cemento.

3.2 MÉTODO DE MEZCLADO

El mezclado se realizó de acuerdo con el cuadro mostrado en la Figura 1, utilizando una mezcladora de mortero de 20 l para mezclar 15 l en una tanda.

3.3 MÉTODO DE PRODUCCIÓN

[3] Los editores utilizaron el Sistema Internacional de Unidades (SI) en estas Memorias, y la coma "," como Puntuación Decimal. Cada ponencia se presenta primero en Inglés y luego en Español, con las Tablas y Figuras, en ambos idiomas, colocadas en medio de ellas.

[4] Esta es una traducción de la ponencia original escrita en Inglés, realizada por Esperanza Tardáguila y Germán G. Madrid, no sometida a la aprobación del autor.

El adoquín permeable fue producido de tal manera que la densidad del concreto mezclado se mide para que cumpla con la proporción definida de vacíos, considerando el contenido unitario de la mezcla. Luego se echó en la máquina moldeadora de adoquines de concreto y fue desmoldado inmediatamente. Después de la vibración y la compresión, la unidad alcanza la altura fijada. Fue curado al aire (en el laboratorio a 20 °C) hasta que alcanzó la edad establecida.

3.4 ENSAYOS

Los ensayos se hacen siguiendo tres ítems, y se llevan a cabo con sujeción al método descrito en la Tabla 3.

1. Medición de los vacíos.
2. Medición de la permeabilidad al agua.
3. Medición de la resistencia a la flexotracción.

3.5 MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE VACÍOS, DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA Y DE LA RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN

Las características de la mezcla y los resultados de los ensayos de los adoquines permeables se muestran en la Tabla 6 y en las Figuras 2 a 4.

1. La Figura 2 muestra el resultado del ensayo de evaluar la resistencia a la flexotracción que proviene solamente del cemento. El contenido de cemento, por unidad, se cambió en 4 rangos, de 400 kg/m³, a 500 kg/m³, pero se encontró que la cantidad de cemento no afectó en absoluto la resistencia a la flexotracción. Se reconoce, sin embargo, que un contenido unitario de 500 kg/m³ de cemento es requerido tomando en consideración la compresión del concreto. Se encontró también que el contenido unitario de cemento no afectó al coeficiente de permeabilidad al agua y a la relación continua de vacíos de agua.
2. La influencia de agregar Asano Pore Mix al contenido unitario de ligante de 500 kg/m³, se muestra en la Figura 3. De acuerdo con esto, se reconoció que existe una diferencia importante entre la resistencia a la flexotracción y la adición del Asano Pore Mix, y que aunque la permeabilidad al agua es igual, mientras más se aumentan las adiciones más alta es la resistencia. Con la adición de 90 kg/m³ de Asano Pore Mix se obtuvo la resistencia a la flexotracción buscada.
3. En la Figura 4 se muestra la influencia de la relación buscada entre los vacíos y la resistencia a la flexotracción, para el contenido unitario de ligante de 450 kg/m³, con adición de 60 kg/m³ de Asano Pore Mix. De acuerdo con ésto, se reconoció que hay una gran diferencia entre resistencia de flexotracción y la resistencia a la flexotracción deseada, y que era necesario fijar la resistencia a la flexotracción deseada alrededor del 12 %, con el fin de obtener la resistencia de flexotracción deseada.

Como resultado se encontró que, las mezclas 7 y 8 son las que satisfacen las propiedades requeridas, pero la 11 se considera la mejor cuando se toma en cuenta el factor económico.

4. PRUEBA DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN ACTUAL

Puesto que las características de la mezcla para satisfacer las condiciones requeridas, se determinaron como resultado de pruebas de laboratorio, la prueba fue llevada a cabo para verificar si la resistencia de los adoquines permeables podía obtenerse en la línea actual de producción.

4.1 PERFIL DE LA PRUEBA

1. Producción de Prueba: 150 m²
   (1 m² = 1 bandeja = 40 adoquines)
2. Muestreo para ensayo: Muestra aleatoria de 3 bandejas.
3. Mezcla: La mezcla para adoquines permeables de alta resistencia, se muestra en la Tabla 7. La mezcla de concreto para base se toma del N° 11 de la prueba de laboratorio 3, Tabla 5.

4.2 ENSAYOS

Los ensayos son los cuatro siguientes, y se llevaron a cabo sujetándose al método de prueba descrito en la Tabla 3.

1. Medición de la permeabilidad de agua.
2. Medición de la resistencia a la flexotracción.
3. Medición de la resistencia al desgaste.
4. Medición de la resistencia al deslizamiento.

4.3 RESULTADO DE LA PRUEBA

4.3.1 PERMEABILIDAD AL AGUA Y RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN

Los resultados de las pruebas de permeabilidad al agua y de resistencia a la flexotracción se muestran en la Tabla 8, a partir de lo cual se encontró que los adoquines permeables producidos en la máquina moldeadora, satisfacen plenamente las propiedades requeridas (resistencia a la flexotracción 6,0 MPa, coeficiente de permeabilidad al agua 1 100mm/s).

La desviación de la resistencia a la flexotracción a la edad de 28 días, es en promedio 8,9 % en Coeficiente de Fluctuación, y no difiere mucho del de los adoquines normales.

4.3.2 RESULTADO DEL ENSAYO DE DESGASTE

La profundidad de desgaste se midió cada 10 min durante 1 h. El resultado se muestra en la Tabla 9.

La profundidad de desgaste tiende a aumentar casi en línea recta con el paso del tiempo. La profundidad de desgaste fue de 0,007 mm/min. Y es pequeña si se compara minuto a minuto con la de los adoquines normales. Además, mostró tendencia a ser buena en cuanto a la resistencia al deslizamien-

to. Se supone que el agregado grueso se ve en la superficie.

4.3.3 RESULTADO DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La resistencia al deslizamiento fue el resultado promedio de cinco mediciones por cada 3 piezas. El resultado de la prueba se muestra en la Tabla 10.

Puesto que no existe un estándar para el Japón sobre el nivel de deslizamiento (resistencia al deslizamiento en la superficie de la vía húmeda), éste fue comparado con el patrón del Centro de Investigación de Vías Británicas (Instrucciones de Resistencia al Deslizamiento), como se muestra en la Tabla 11. Dicho patrón se ubica en la categoría A "Bueno", de resistencia al deslizamiento.

5. CONCLUSIÓN

1. Pueden producirse adoquines de alta resistencia permeables al agua que satisfagan las propiedades requeridas (resistencia a la flexotracción 6,0 MPa, coeficiente de permeabilidad al agua 1 100 mm/s, Asano Pore Mix 60 kg/m³) estableciendo el contenido unitario de cementante en 500 kg/m³ (cemento 440 kg/m³, Asano Pore Mix 60 kg/m³) y la proporción de vacíos 12 %.
2. Las resistencia al desgaste y al deslizamiento, son iguales a las de los adoquines normales.
3. La desviación de la resistencia a la flexotracción de los adoquines permeables, dentro de la misma bandeja, es igual a la de los adoquines normales con el coeficiente de fluctuación de 8,6 % a 9,2 %.
4. Podrían fabricarse adoquines permeables de alta resistencia sin problema, en la máquina de moldeo convencional.

Actualmente, se han hecho pruebas como la de verificar la resistencia y la duración a largo plazo de los pavimentos que utilizan adoquines de alta resistencia permeables, y establecer el método de mantenimiento para el relleno de vacíos.