THE PROPERTIES OF LOW-NOISE DRAINAGE-CONCRETE BLOCK PAVEMENT [1] [2]

Minoru HATA
Central Research Laboratory
CHICHIBU ONODA CEMENT CO., LTD
Kumagaya, Japan

Shigeo SUDA
Central Research Laboratory
CHICHIBU ONODA CEMENT CO., LTD
Kumagaya, Japan

Norihiro EZUMI

ONODA OLB GROUP
Tokyo, Japan

SUMMARY

The social needs for road pavement in Japan have now at last begun to shift from the function oriented ages, laying stress on automobiles, to the environment and landscape oriented ages, laying stress on human being. The research organizations related to pavement are actively tackling a theme "drainage pavement" among others in order to create road pavement which harmonizes with man and natural environment. The authors pay attention to the low noise drainage concrete block pavement system as a series of concrete block pavement to be developed to roadways in Japan and discussed such various topics as verification of noise reducing effect, measures to cavity stuffing and quality improvement of drainage concrete block aiming at application to roadways and achieved satisfactory results.

This paper deals with the properties of the low noise drainage concrete block paving system.

1. INTRODUCTION

Drainage pavement is rapidly gaining popularity recently in Japan as a paving material with such excellent properties as draining efficiency and noise reducing effect. This is mainly for asphalt drainage pavement, but the authors took interest in the low noise drainage concrete block pavement system with the drainage layer consisting of drainage concrete block and the layer course using crushed stone with maximum particle size of 5 mm in order to increase the drainage of concrete block pavement and to promote the research on establishment and popularization of this technology (Figure 1).

This paper also deals with the result of the water permeability laboratory test in regard to a secular change of drainage efficiency and recovery effect featuring noise reducing effect among the research themes of the low noise drainage concrete block paving system. It was necessary to bring up the quality of the drainage concrete block to the same level as the normal concrete block since the low noise drainage concrete block paving system is applied to motorways. The discussion result of this matter is also reported in this paper.

2. THE STANDARD STRUCTURE OF THE LOW NOISE DRAINAGE CONCRETE BLOCK PAVING SYSTEM

The standard structure of the low noise drainage concrete block paving system is shown in Figure 1. The drainage concrete block (L: 240 mm x W: 120 mm x D: 80 mm) has a percentage of air voids of 20 % to 25 %. Aggregate with small particle size of 2,36 mm to 4,75 mm was used for the surface of the drainage concrete block to attach importance to "design and landscape characteristics" and as well to be good for "noise reducing effect", "a secular change of draining effect and recovery effect" and "restriction of stuffing at joint sand filling". The dimensions of the block taper were improved by making smaller than the normal ones. The drainage layer (Photo 1) consists of the drainage concrete block and the layer course where crushed stone with the maximum particle size of 5 mm is as rule used in order to avoid runaway of sand and liquefaction. The impermeable layer (ex. dense-graded asphalt concrete) is built under the drainage layer and the base and the subgrade are composed underneath. Rain water thus permeates into the drainage layer consisting of the drainage concrete block and the layer course, and is drained off from the surface of the impermeable layer to gutters in the shoulders by the crossfall of the pavement.

3. NOISE REDUCING EFFECT

3.1 CONDITIONS OF NOISE MEASUREMENT

[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.

Noise measurement was carried out in the test running course as shown in Figure 2 using a real vehicle (Photo 2) in order to verify the noise reducing effect of the low noise drainage concrete block paving system. The test conditions are shown in Table 1. Each three patterns of the laying patterns of concrete blocks, as shown in Figure 2, were prepared for noise measurement in order to compare the noise levels between the low noise drainage concrete block paving system and normal concrete block pavement and as well to verify the influence by the laying patterns of concrete blocks and the materials used for the layer course to the noise levels. The prepared three concrete block laying patterns are 45 ° herring-bone bond, 90 ° herring-bone bond, and stretcher bond. The same noise measurement test was carried out in the adjacent asphalt pavement for comparison.

3.2 THE RESULT OF NOISE MEASUREMENT

The result of noise measurement in the dry state and in the wet state is shown in Figure 3 and in Figure 4 respectively, and the result of frequency analysis (1/3 octave analysis) of the noise level in the wet state in shown in Figure 5.

The following was made clear from the results in Figure 3 to Figure 5:

1. As conventional researches report, the noise level tends to increase as the speed of the automobile increase.
2. As far as the result of this measurement is concerned, the noise level of asphalt pavement is the highest, but normal concrete block pavement in the dry state tends to increase its noise level quite rapidly as compared to other pavements as the automobile speed goes up and it reached almost the same noise level as asphalt pavement at a speed of 50 km/h.
3. It was verified that the low noise drainage concrete block pavement system was effective for reducing the noise level at a speed of 50 km/h by 3 dB in the dry state and 12 dB in the wet state as compared to asphalt pavement.
4. The noise level of normal concrete block pavement and asphalt pavement is higher in the wet state than in the dry state, but the noise level of the low noise drainage concrete block paving system is little influenced by the humidity conditions of the road surface and the noise level in both the dry and wet state is almost equal.
5. Asphalt pavement greatly changes its noise level when the road surface conditions change from the dry state to the wet state. It is because water stays on asphalt pavement in the wet state and the water is splashed by automobile tires raising the noise level. This noise is supposed to be the origin of noise in the high frequency range in frequency analysis (1/3 octave analysis).
6. As clearly known from the result of frequency analysis (1/3 octave analysis), the low noise drainage concrete block paving system succeeded in reducing noise because of its low noise level in the annoying high frequency range in the wet state.

3.3 INFLUENCE OF THE LAYING PATTERN

The noise level at a speed of 50 km/h, depending on the dry and the wet state, is shown in Figure 6 in order to verify the influence to the noise level by the different laying patterns. Almost no noise level difference depending on the laying patterns is found in the low noise drainage concrete block paving system but normal concrete block pavement shows a difference in the noise level. The 90 ° herringbone pattern in the dry state shows slightly bigger noise level than the others but it is yet at small as 1 dB. On the other hand, the stretcher bond in the wet state clearly shows much higher noise level than the other and it is about 3 dB bigger than of the 90 ° and 45 ° herringbone patterns. As a result, it was found that noise produced at automobile running is a little bit smaller on the 90 ° and 45 ° herringbone patterns than on the stretcher bond pattern.

3.4 INFLUENCE OF THE MATERIAL USED FOR THE LAYER COURSE

As mentioned above, crushed stone with the maximum particle size of 5 mm is to be used as a rule for the layer course of the low noise drainage concrete block paving system. Noise measurement was carried out again after changing the layer course of the test running course as shown in Figure 2 from crushed stone (maximum particle size 5 mm) to sand (crushed sand) on which concrete blocks were laid in the same manner as before in order to verify the noise level difference between the crushed stone and sand which has conventionally been used for the layer course of concrete block pavement. Figure 7 shows the noise level at 50 km/h dividing into the dry state and the wet state. The low noise drainage concrete block paving system shows as small as 1 dB difference in the wet state in case crushed stone (maximum particle size is 5 mm) is used instead of sand for the layer course. On the other hand, the noise level of normal concrete block pavement shows about 2 dB and 6 dB lower in the dry state and in the wet state respectively in case crushed stone (maximum particle size 5 mm) is used for the layer course instead of sand. It was thus found that if crushed stone (maximum particle size 5 mm) is used for the layer course, even normal concrete block pavement can expect noise reducing effect.

4. SECULAR CHANGE OF DRAINAGE FUNCTION, RECOVERY EFFECT AND RESTRICTION OF STUFFING

The drainage layer (the layer consisting of drainage concrete blocks and crushed stone with the maxi-

mum particle size of 5 mm) of the low noise drainage concrete block paving system was prepared in the constant head permeameter (500 mm x 500 mm) shown in Figure 8 in order to verify a secular change of drainage function and recovery effect. A quantity of cohesive soil corresponding to 4 years actual service was filled on the surface of drainage concrete blocks to accelerate stuffing. The coefficient of permeability was obtained every year of service carrying out the test and after 2 and 4 years of service, recovery treatments against stuffing by a vacuum cleaner were given to verify the recovery effect with the coefficient of permeability. The result of this constant head permeability test and the recovery effect is shown in Figure 9 and the system resulted in much better coefficient of permeability and recovery effect than drainage asphalt pavement (maximum particle size of 13 mm) under the same conditions.

It is also confirmed that stuffing on the block surface at joint sand filling is restricted if joint sand with particle size of as small as 1,2 mm to 2,5 mm is used since aggregate of the drainage concrete block surface layer is small (2,36 mm to 4,75 mm).

5. QUALITY IMPROVEMENT OF THE DRAINAGE CONCRETE BLOCK

The same quality level as normal concrete blocks was required to drainage concrete blocks as the low noise drainage concrete block paving system is applied to roadways. After study on improving the quality of the drainage concrete blocks, the quality of the drainage concrete block could be brought up to the same level as the normal concrete block by improving the particle size of aggregate and by 5 % to 10 % polymer to cement mixed. The relation between polymer mixing rate and bending strength, and compressive strength and wearing resistance test results of various paving materials are shown in Figure 10, Figure 11 and Figure 12, respectively.

6. CONCLUSION

As mentioned above, the low noise drainage concrete block system is a paving material which is "kind to human beings and environment" preserving wonderful living environment of not only road users but people living along the road. A fact that consolidation deformation currently seen in drainage asphalt pavement and air voids collapse by asphalt flow do not occur to the low noise drainage concrete block paving system as it is a concrete material is really a big merit when maintenance of drainage pavement is taken into consideration.

Last but not least, the research on the low noise drainage concrete block paving system that the authors are promoting is now entered into the final stage and performance evaluation as the pavement for the traffic load is implemented by using a road simulator and by the follow up examination at the site actually applied. Recovery effect of drainage function by function recovery vehicle used for drainage asphalt pavement is being confirmed and how to maintain is also being discussed getting satisfactory results. The technology has been almost established.

Measurement method ***Método de medición***	Based on the standard of Japan Automobile Tires Association (JASO C 606) / *Con base en la norma de la Asociación de Productores de Llantas del Japón (JASO C 606)*
Measurement position ***Posición de medición***	Distance: 7,5 m away from the center line - Height: 1,2 m - Auditory sense characteristic: A characteristic / *Distancia: 7,5 metros a los lados del eje de la vía - Altura: 1,2 m - Característica de audición: Una característica*
Test vehicle ***Vehículo de ensayo***	1,6 litters - Gasoline engine - Radial tires / *1,6 litros - Motor de gasolina - Llantas radiales*
Speed / *Velocidad*	30 km/h - 40 km/h - 50 km/h
Road condition ***Condición de la vía***	Dry state - Wet state (by sprinkling water) / Seco - Húmedo (por riego de agua)

Table 1. Test conditions of noise measurement.
Tabla 1. *Condiciones para la medición de ruido.*

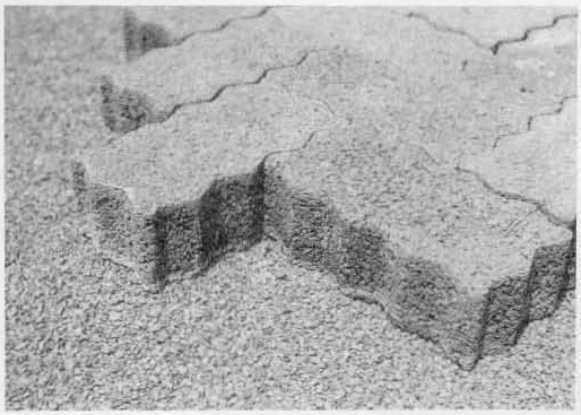
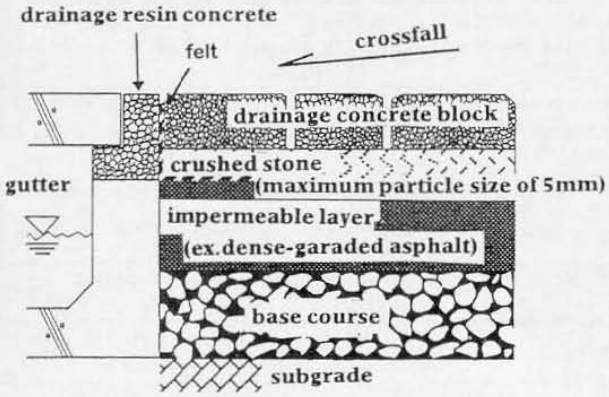


Photo 1. The drainage layer consisting of drainage concrete blocks and crushed stone with the maximum particle size of 5 mm.
Foto 1. *Capa de drenaje consistente en adoquines permeables y piedra triturada con tamaño máximo de 5 mm.*

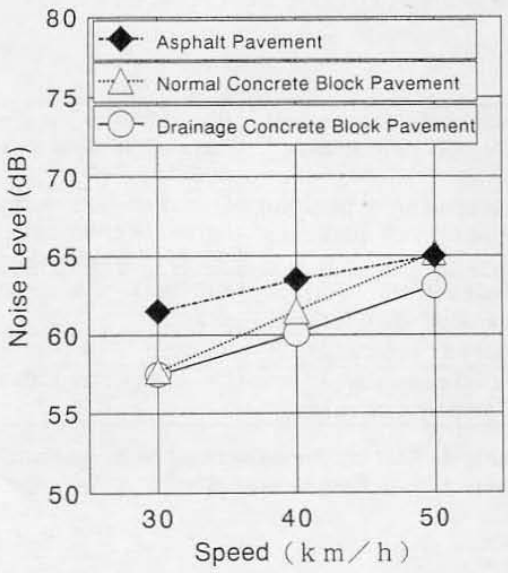


Photo 2. The test-running course and the vehicle for noise measurement.
Foto 2. *Superficie y vehículo para la medición de ruido.*



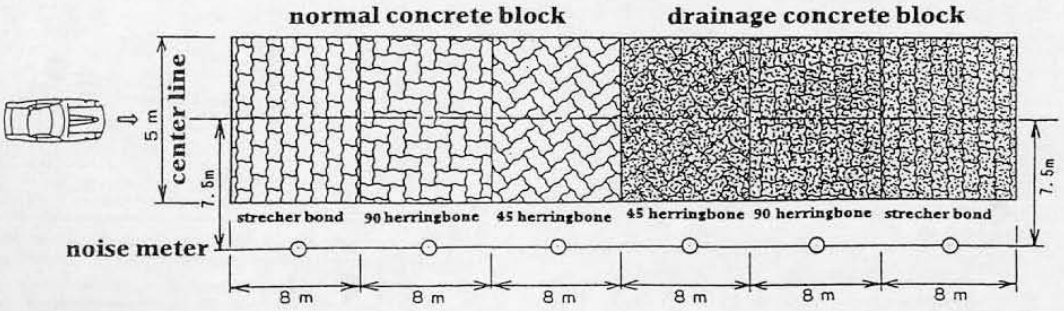
Drainage resin concrete / *Concreto de resina drenante* - Gutter / *Sumidero* - Felt / *Fieltro* - Crossfall / *Pendiente transversal* - Drainage concrete block / *Adoquín de concreto drenante* - Crushed stone / *Roca triturada* - Maximum particle size / *Tamaño máximo de partícula* - Impermeable layer / *Capa impermeable* - ex. Dense graded asphalt / *ej. Asfalto denso bien gradado* - Base course / *Capa de base.*

Figure 1. The standard structure of the low noise drainage concrete block paving system.
Figura 1. *Estructura estándar de un pavimento drenante y silencioso en adoquines de concreto.*



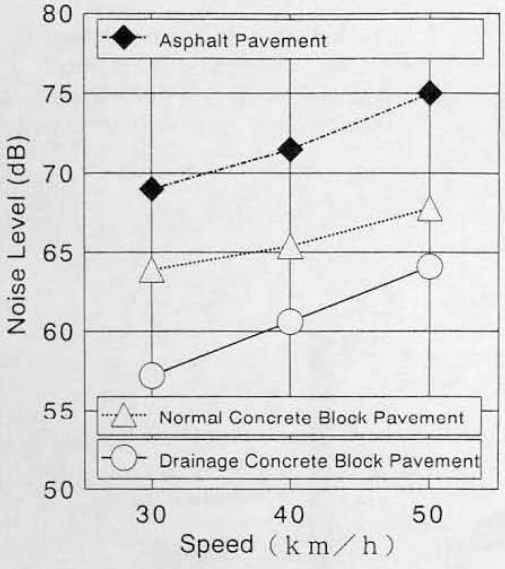
NIVEL DE RUIDO (dB) vs VELOCIDAD (km/h)
Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto* - Normal Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto normales* - Drainage Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes.*

Figure 3. The noise measurements result in the dry state.
Figura 3. *Resultado de la medición de ruido en estado seco.*



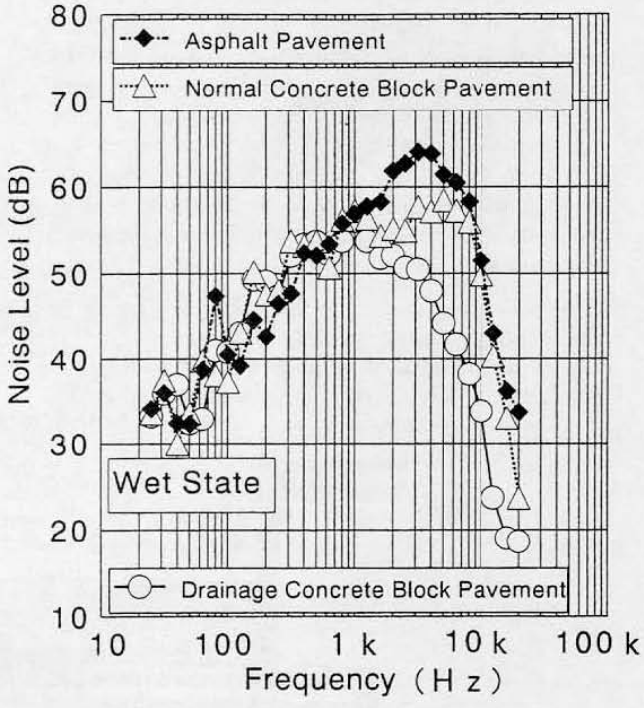
Normal concrete block / *Adoquín de concreto normal* - Drainage concrete block / *Adoquín de concreto drenante* - Center line / *Eje* - Noise meter / *Medidor de ruido* - Stretcher bond / *Patrón en hileras* - 90 Herringbone / *Patrón de espina de pescado a 90 °* - 45 Herringbone / *Patrón de espina de pescado a 45 °*.

Figure 2. The test running course and the laying patterns.
Figura 2. *Pista de ensayo y los patrones de colocación.*



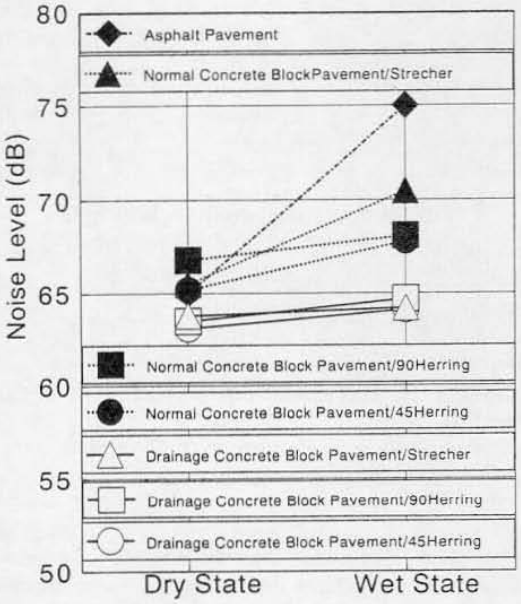
NIVEL DE RUIDO (dB) vs VELOCIDAD (km/h)
Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto* - Normal Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto normales* - Drainage Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes.*

Figure 4. The noise measurements result in the wet state.
Figura 4. *Resultado de la medición de ruido en estado húmedo.*



NIVEL DE RUIDO (dB) vs FRECUENCIA (Hz)
Wet State / *Estado húmedo* - Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto* - Normal Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto normales* - Drainage Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes.*

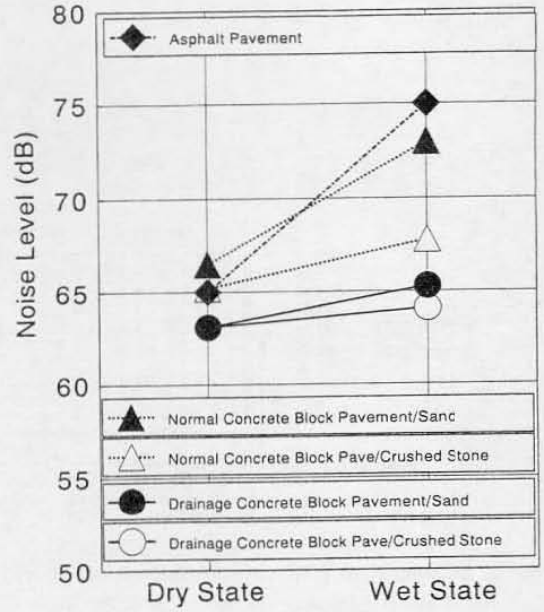
Figure 5. The frequency (1/3 octave) analysis results in the wet state.
Figura 5. *Resultados del análisis de la frecuencia (1/3 de octava), en estado húmedo.*



NIVEL DE RUIDO (dB) vs ESTADO SECO - ESTADO HÚMEDO

Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto* - Normal Concrete Block Pavement/Stretcher / *Pavimento de adoquines de concreto normales/Hileras* - Normal Concrete Block Pavement/90 Herring / *Pavimento de adoquines de concreto normales/Espina de pescado a 90 °* - Normal Concrete Block Pavement/45 Herring / *Pavimento de adoquines de concreto normales/Espina de pescado a 45 °* - Drainage Concrete Block Pavement/Stretcher / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes/Hileras* - Drainage Concrete Block Pavement/90 Herring / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes/Espina de pescado a 90 °* - Drainage Concrete Block Pavement/45 Herring / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes/Espina de pescado a 45 °*

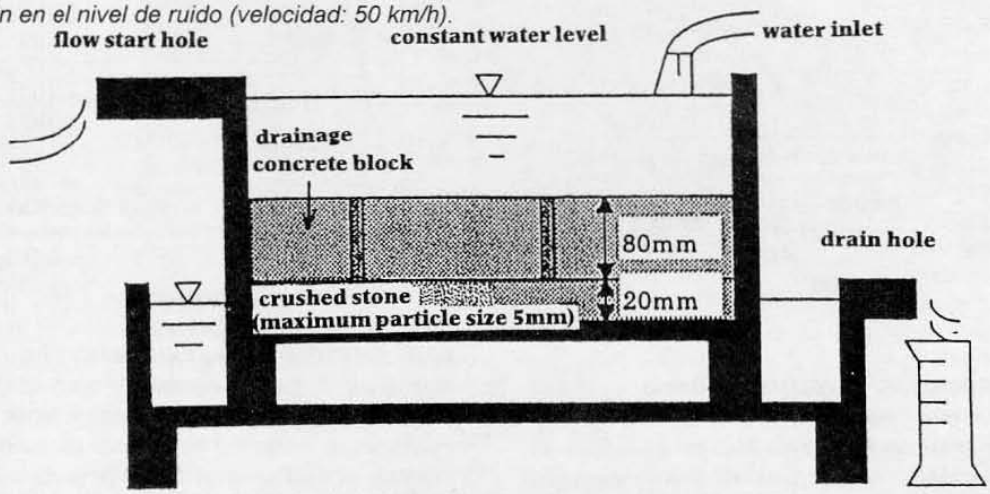
Figure 6. The influence to the noise level by the different laying patterns (speed 50 km/h).
Figura 6. *Influencia de los diferentes patrones de colocación en el nivel de ruido (velocidad: 50 km/h).*



NIVEL DE RUIDO (dB) vs ESTADO SECO - ESTADO HÚMEDO

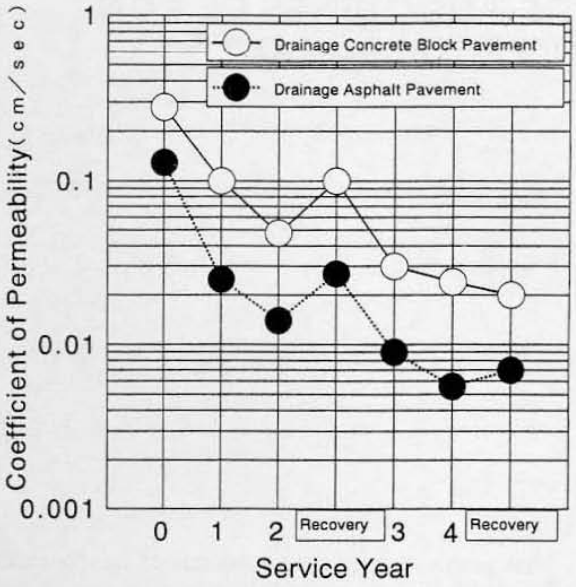
Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto* - Normal Concrete Block Pavement/Sand / *Pavimento de adoquines de concreto normales/Arena* - Normal Concrete Block Pavement/Crushed Stone / *Pavimento de adoquines de concreto normales/Roca triturada* - Drainage Concrete Block Pavement/Sand / *Pavimento de adcquines de concreto drenantes/Arena* - Drainage Concrete Block Pavement/Crushed Rock / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes/Roca triturada.*

Figure 7. The influence to the noise level by the material for the layer courses (speed 50 km/h).
Figura 7. *Influencia del tipo de material de la capa bajo los adoquines en el nivel de ruido (velocidad: 50 km/h).*



Flow start hole / *Orificio de inicio del flujo* - Constant water level / *Nivel constante del agua* - Water inlet / *Ingreso del agua* - Drainage concrete block / *Adoquín de concreto drenante* - Crushed stone / *Roca triturada* - Maximum particle size / *Tamaño máximo de partícula* - Drain hole / *Orificio para drenaje*

Figure 8. Constant-head permeameter.
Figura 8. *Permeámetro de cabeza constante.*

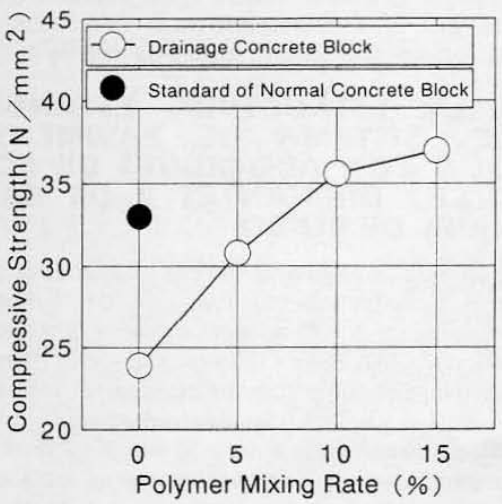


COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (cm/s) vs AÑOS DE SERVICIO

Drainage Concrete Block Pavement / *Pavimento de adoquines de concreto drenantes* - Drainage Asphalt Pavement / *Pavimento de asfalto drenante* - Recovery / *Recuperación.*

Figure 9. Secular change and recovery effect of drainage function.

Figura 9. *Cambio anual y efecto de recuperación de la función drenante.*

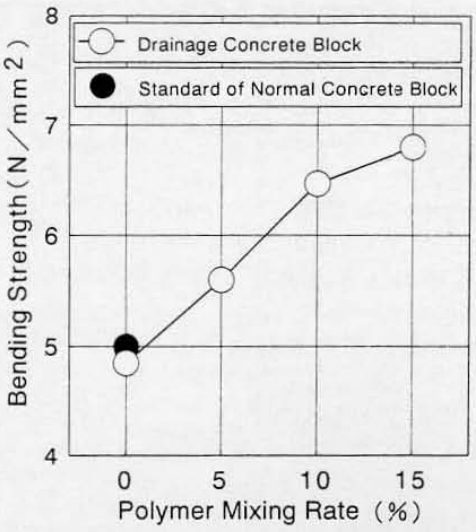


RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm2) vs RATA DE MEZCLA DE POLÍMERO (%)

Drainage Concrete Block / *Adoquín de concreto drenante* - Standard of Normal Concrete Block / *Adoquín de concreto normal estándar.*

Figure 11. Polymer mixing rate and compressive strength.

Figura 11. *Influencia de la presencia de polímero en la mezcla, sobre la resistencia a la compresión.*

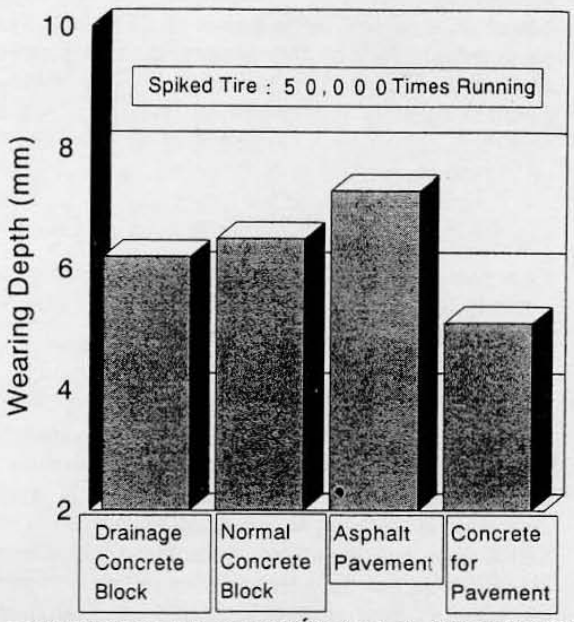


RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (N/mm2) vs RATA DE MEZCLA DE POLÍMERO (%)

Drainage Concrete Block / *Adoquín de concreto drenante* - Standard of Normal Concrete Block / *Adoquín de concreto normal estándar.*

Figure 10. Polymer mixing rate and bending strength.

Figura 10. *Influencia de la presencia de polímero en la mezcla, sobre la resistencia a la flexotracción.*



PROFUNDIDAD DE ABRASIÓN (mm) vs MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN (ADOQUÍN DE CONCRETO DRENANTE - ADOQUÍN DE CONCRETO NORMAL – PAVIMENTO ASFÁLTICO - CONCRETO PARA PAVIMENTOS)

Spiked tire: 50 000 Times Running / *Llanta con taches pasando 50 000 veces.*

Figure 12. The wearing tests result of various paving materials.

Figura 12. *Resultados del ensayo a la abrasión de varios materiales.*

PROPIEDADES DEL PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO DRENANTES Y DE BAJO NIVEL DE RUIDO [3] [4]

Minoru HATA
Laboratorio Central de Investigación
CHICHIBU ONODA CEMENT CO., LTD
Kumagaya, Japón

Shigeo SUDA
Laboratorio Central de Investigación
CHICHIBU ONODA CEMENT CO., LTD
Kumagaya, Japón

Norihiro EZUMI

ONODA OLB GROUP
Tokio, Japón

RESUMEN

Las necesidades sociales de pavimento vial en Japón, han comenzado finalmente a desplazarse de los tiempos basados en la función, con insistencia en el automóvil, a tiempos orientados por el paisaje y el medio ambiente, con insistencia en el ser humano. Las organizaciones investigadoras en pavimentos, están abordando activamente el tema "pavimento drenante", entre otras cosas, para crear pavimentos de vías que armonicen con el hombre y el medio ambiente natural. Los autores prestan atención al sistema de pavimento de adoquines de concreto drenantes, de bajo nivel de ruido, como los pavimentos de adoquines de concreto a desarrollar en las vías del Japón. Además, se discuten tópicos variados como la verificación del efecto de reducción de ruido, medidas para combatir la colmatación de las cavidades y el mejoramiento de los adoquines drenantes con miras a su utilización en las vías, sobre lo cual alcanzaron resultados satisfactorios.

Este documento se ocupa de las propiedades del sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido.

1. INTRODUCCIÓN

El pavimento drenante está ganando rápidamente popularidad en Japón como material de pavimentación con propiedades tan excelentes como la eficiencia en el drenaje y la reducción en el ruido. Esto se ha dado principalmente a través de pavimentos drenantes de asfalto, pero los autores tomaron interés en el sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenante y de bajo nivel de ruido. La capa drenante consiste en adoquines de–concreto drenantes, y una capa de arena conformada por piedra triturada, con tamaño máximo de 5 mm, con el fin de aumentar el drenaje del pavimento de adoquines de concreto. Se pretende promover la investigación sobre el establecimiento y la popularización de esta tecnología (Figura 1).

Esta ponencia también se ocupa de los resultados de los ensayos de permeabilidad al agua, en laboratorio, con miras a un cambio en la eficiencia del drenaje y en la recuperación el mismo, y del efecto de reducción de ruido. Fue necesario llevar la calidad del adoquín de concreto drenante al mismo nivel que la del adoquín de concreto corriente, puesto que el sistema de pavimentación con adoquín de concreto drenante de bajo nivel de ruido, se aplica en carreteras. En esta ponencia se informa también el resultado de la discusión sobre esta materia.

2. LA ESTRUCTURA ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES DE CONCRETO DRENANTES Y DE BAJO NIVEL DE RUIDO

El sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido, se muestra en la Figura 1. El adoquín drenante (Longitud = 240 mm x Ancho = 120 mm x Espesor (alto) = 800 mm) tiene un porcentaje de espacios vacíos entre el 20 % y el 25%. Se utilizó un agregado con un tamaño de partículas entre 2,36 mm y 4,75 mm, para conformar la superficie drenante de los adoquines, con el fin de dar importancia a "las características de diseño y paisajismo", como y al requerimiento de ser adecuados para "reducir el ruido". Esto es, "un cambio duradero de efecto drenante y de recuperación" y "restricción del llenado con arena de sello".

Las dimensiones de los biseles de los adoquines se mejoraron al reducirlas con respecto a las normales. La capa drenante (Foto 1) consta de adoquines de concreto, y e una capa de arena reemplazada por

---

[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.

piedra triturada con un tamaño máximo de 5 mm, para evitar el escurrimiento de la arena y su liquefacción. La capa impermeable (por ejemplo, concreto asfáltico denso) se construye debajo de la capa de drenaje, y la base y la subrasante quedan debajo de la anterior. Así pues, el agua lluvia penetra en la capa drenante, la cual consta de los adoquines drenantes y de capa de "arena", y ésta desagua de la superficie de la capa impermeable donde es llevada hacia las cunetas en las hombros de la vía, impulsada por la pendiente transversal del pavimento.

3. EFECTO DE REDUCCIÓN DEL RUIDO

3.1 CONDICIONES DE LA MEDICIÓN DEL RUIDO

La medición del ruido se llevó a cabo para la superficie, como se muestra en la Figura 2, utilizando un vehículo normal (Foto 2), con el fin de verificar el efecto reductor del ruido del sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido. Las condiciones del ensayo se muestran en la Tabla 1. Se prepararon zonas con tres patrones de colocación para los adoquines, como se muestra en la Figura 2. Lo anterior con el fin de comparar los niveles de ruido generado, entre el sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido y el pavimento con adoquines normales, y verificar la influencia de los patrones de colocación de los adoquines y de los materiales utilizados para la rodadura en el nivel ruido generado. Los tres patrones de colocación fueron espina de pescado a 45 ° y a 90 ° e hiladas. El mismo ensayo de medición de ruido se llevó a cabo sobre el pavimento de asfalto adyacente, para efectos de comparación.

3.2 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DEL RUIDO

El resultado de la medición del ruido con el pavimento en estado húmedo y seco se muestra en las Figuras 3 y 4 respectivamente, y el resultado del análisis de frecuencia (análisis de 1/3 de octava) del nivel de ruido en estado húmedo, se muestra en la Figura 5.

Las Figuras 3 a 5 permiten aclarar lo siguiente acerca de los resultados:

1. Como informan los informes corrientes, el nivel de ruido tiende a aumentar cuando aumenta la velocidad del automóvil.
2. Por lo que se refiere a los resultados de la medición del nivel de ruido del pavimento, el de asfalto tiene el nivel más alto. El pavimento de adoquines de concreto corrientes secos tiende a aumentar el nivel de ruido muy rápidamente cuando la velocidad de los automóviles aumenta, si se compara con otros pavimentos, y alcanza casi el mismo nivel de ruido que el pavimento de asfalto a los 50 km/h.
3. Se verificó que el sistema de pavimento con adoquines de concreto drenantes de bajo nivel de ruido, era efectivo para reducir el nivel de ruido, a 50 km/h en el estado seco, en 3 dB. En estado húmedo lo hace en 12 dB, comparado, en ambos casos, con el pavimento de asfalto.
4. El nivel de ruido en el pavimento de adoquines de concreto corrientes y en el de asfalto es más alto en estado húmedo que en estado seco. Pero el nivel de ruido del sistema de pavimento de adoquines de concreto drenantes de bajo nivel de ruido, es poco influido por las condiciones de humedad de la superficie de la vía, y el nivel de ruido, tanto en estado húmedo como seco, es el mismo.
5. El pavimento de asfalto cambia ampliamente su nivel de ruido cuando la superficie de la vía cambia del estado húmedo al seco. Ello se debe a que el agua que está sobre el pavimento de asfalto es golpeada por los neumáticos del vehículo, aumentando el nivel de ruido. Se supone que este ruido es el origen del ruido de alta frecuencia en el análisis de 1/3 de octava).
6. Como se sabe, a partir del resultado del análisis de frecuencia (análisis de 1/3 de octava), el sistema de pavimento con adoquines drenantes de bajo nivel de ruido ha tenido éxito en la reducción del ruido debido al bajo nivel del mismo que produce para las altas frecuencias molestas en estado húmedo.

3.3 INFLUENCIA DEL PATRÓN DE COLOCACIÓN

El nivel de ruido a 50 km/h, dependiendo del estado seco o húmedo, se muestra en la Figura 6 con el fin de verificar la influencia, en el nivel de ruido, de los diferentes patrones de colocación. Casi no se encuentra diferencia de nivel de rudo en función del patrón de colocación, para el sistema de pavimento de adoquines drenante de bajo nivel de ruido, pero el adoquín corriente sí muestra diferencia. El patrón de espina de pescado a 90 °, en estado seco, muestra un nivel de ruido levemente mayor que el de los otros patrones, en tan solo 1 dB. Por otra parte, el patrón de colocación en hiladas en estado húmedo muestra claramente mucho mayor nivel de ruido, aproximadamente 3 dB, que los patrones de colocación en espina de pescado a 90 ° y 45 °. Como resultado, se encontró que el ruido producido por el automóvil es un poco menor sobre el patrón en espina de pescado a 90 ° y 45 ° que sobre el patrón en hiladas.

3.4 INFLUENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO PARA LA CAPA DE ARENA

Como se mencionó arriba, se debe utilizar piedra triturada, con tamaño máximo de 5 mm, como material para la capa de arena, en el sistema de pavimentos de adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido. La medición del ruido fue llevada a cabo de nuevo después de cambiar la capa de

arena como se muestra en la Figura 2. Se cambió la piedra triturada por arena triturada, con los adoquines colocados de la misma manera que antes. Esto con el fin de verificar la diferencia del nivel de ruido entre el uso de la piedra triturada y la arena convencionalmente utilizada para la capa de arena en el pavimento de adoquines. La Figura 7 muestra el nivel de ruido a 50 km/h tanto en estado seco como húmedo. El sistema de pavimentación con adoquín de concreto drenante de bajo nivel de ruido muestra una diferencia de 1 dB en el estado húmedo en el caso de usar piedra triturada en vez de arena para la capa de base. Por otra parte, el nivel de ruido del pavimento con adoquines corrientes muestra alrededor de 2 dB y 6 dB más bajo en el estado seco y en el estado húmedo respectivamente, en el caso de usar piedra triturada en vez de arena para la capa de arena. Así pues, se encontró que si se usa piedra triturada, aun en pavimento de adoquines corrientes, se puede esperar un efecto de reducción de ruido.

4. CAMBIO EN LA FUNCIÓN DRENANTE, EFECTO DE RECUPERACIÓN Y RESTRICCIÓN DE LA COLMATACIÓN

La capa de drenaje del sistema de pavimentación con adoquines drenantes de bajo nivel de ruido fue preparada en un permeámetro de cabeza constante (500 mm x 500 mm) mostrado en la Figura 8, con el fin de verificar un cambio rápido de la función de drenaje y efecto de recuperación. Se regó una cantidad de suelo cohesivo sobre la superficie del pavimento, equivalente a los detritos que tendría después de 4 años de servicio, con el fin acelerar el proceso de colmatación. El coeficiente de permeabilidad fue obtenido para cada año de servicio. Después de 2 y 4 años se hacían tratamientos de recuperación contra la colmatación, por medio de aspirado, con el fin de verificar el efecto de recuperación del coeficiente de permeabilidad. El resultado del ensayo de permeabilidad de cabeza constante y el efecto de recuperación se muestra en la Figura 9. El resultado en coeficiente de permeabilidad y efecto de recuperación y fue mucho mayor para el sistema de pavimento de adoquines de concreto drenantes de bajo nivel de ruido, que para el pavimento de asfalto drenante (partículas con tamaño máximo de 13 mm) bajo las mismas condiciones.

También se confirmó que la colmatación de la superficie del adoquín debida a la arena de sello, se restringe si se usa arena para sello con partículas con un tamaño entre 1,2 mm y 5 mm, puesto que el agregado de la superficie del adoquín drenante es pequeño (2,36 mm a 4,75 mm).

5. MEJORA EN LA CALIDAD DEL ADOQUÍN DE CONCRETO DRENANTE

El mismo nivel de calidad que para los adoquines corrientes se requirió para los adoquines drenantes cuando se aplican al sistema de pavimentación con adoquines drenantes de bajo nivel de ruido. Después de estudiar la mejora de la calidad de los adoquines drenantes, ésta se pudo llevar al mismo nivel que el adoquín corriente, mejorando el tamaño del agregado y adicionándole a la mezcla entre el 5 % y el 10 % de polímero en función del contenido de cemento. La relación entre el porcentaje del polímero mezclado y la resistencia a la flexotracción y a la compresión se muestra en las Figuras 10 y 11. La resistencia al desgaste para diversos materiales de pavimentación se muestra en la Figura 12.

6. CONCLUSIÓN

Como se dijo arriba, el sistema de paviemtación con adoquines drenantes de bajo nivel de ruido, es un material de pavimentación "amigable con los seres humanos y con el medio ambiente". Un maravilloso preservador de medio ambiente vital, no solamente para los usuarios de las vías sino también para quienes viven a lo largo de éstas. El hecho de que en el sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes y de bajo nivel de ruido no ocurra la consolidación vista normalmente en el pavimento de asfalto drenante, ni el colapso de los espacios vacíos debido al flujo e asfalto, es un gran mérito cuando se trata del mantenimiento del pavimento drenante.

Por último, pero no menos importante, la investigación sobre el sistema de pavimentación con adoquines de concreto drenantes de bajo nivel de ruido que promueven los autores, ha entrado ahora en la última etapa de evaluación de su rendimiento como pavimento para cargas al ser implementado en un simulador de pavimentos y por el examen de seguimiento en el sitio donde está siendo utilizado. El efecto de recuperación de la función del drenaje está siendo confirmado y se está discutiendo sobre su mantenimiento con resultados satisfactorios. La tecnología casi ha sido establecida en sus parámetros.