MEASUREMENT OF THE STRESS DISTRIBUTION UNDER CONCRETE BLOCKS AND COMPARISON WITH ANALYTICAL VALUES [1] [2]

Sandanori MURAI
Professor
TOHOKU INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Sendai, Japan

Hikoto TAKAHASHI
Professor
TOHOKU INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Sendai, Japan

T. YAMASE

TONECHIKAGIJYUTU INC.
Tokyo, Japan

SUMMARY

In Japan, we design the concrete block pavement according to the asphalt pavement design method [1]. But the stress distributing function of the concrete blocks is a little different from that of the asphalt or the concrete pavement surfaces. It is very important to make the specific behavior of the concrete block pavement clear. The authors showed the stress distribution under concrete block pavements near the loading point [2, 3]. This time, under the same condition, the authors presented the stress distribution under concrete blocks in wider area. In this study, the stress distribution under concrete blocks was measured experimentally and it was compared with the analytical values calculated by multi layer theory, which has been applied to the asphalt pavements and to the concrete pavements.

From the results, the stress distributing function of concrete blocks was expressed as a part of the general character of pavement surfaces.

And it was shown that the load distribution ability of concrete block pavement mainly stands between those of concrete pavement and asphalt pavement except near the loading area.

1. INTRODUCTION

When concrete blocks are used as a pavement surface layer, the movement of each block is restricted. Then some rigid displacement and elastic deformation occur simultaneously corresponding to the external force [4]. This is characteristic of the concrete block pavements, and is different from other pavement forms that have continuous surfaces. Accordingly, the stress distribution under concrete blocks is greatly affected by the behavior of each block. The stress distribution under concrete block pavements near the loading point has been already shown [3]. This time, the authors showed the results by measuring the stress distribution under concrete blocks in wider area under the same condition. Next the results were combined with the last experimental results. And the total loads were compared with the analytical values calculated by multi layer elastic theory, which has been applied to the asphalt pavements and to the concrete pavements. From the results, the stress distributing function of concrete blocks came to be placed into the general character of pavement surfaces.

2. EXPERIMENT

The experiment was carried out in an indoor pit. The pavements had the same structures as the last experiments. Figure 1 shows the block pavement structures used for experiments. The area of concrete block pavement was 2 m x 2 m. The pavement structure was composed of concrete block layer, sand cushion layer and subbase. Reactive paper, the size of which was about 1 m x 1 m, was inserted between the sand cushion layer and subbase. A thin vinyl chloride plate was placed under the reactive paper to get rid of the influence of the uneven subbase surface.

The measuring area of reactive paper is shown in Figure 2. It must be better to measure the stresses in the whole area. But as it needs too much work, the data in quarter area of the experiment has been measured.

The concrete block patterns were stretcher bond and herringbone bond, and the block shapes were plain straight type (rectangular shape) and top type (shaped type). An 8 t (78,4 kN) and circular load was used in the experiments. As it could be seen from the condition, all experiments were executed in

[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. The References are included only in the original version of each paper.

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

the same manner of the last paper [3] except the measured area.

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND CONSIDERATION

One stress value was obtained for every 5 mm x 5mm area. Accordingly, about 200 x 400 stress values were obtained for each block. The distributions of all these stresses are expressed in Figure 3 as computer graphics. What the abbreviation of this figure means is as follows:

SS: Straight block in stretcher bond
SH: Straight block in herringbone bond
TS: Top type in stretcher bond
TH: Top type in herringbone bond.

Each stress distribution of the block shape and the laying block type is shown and stress concentration occurs under the concrete blocks near the loading area. And a few stresses bigger than a certain stress level are seen at remote parts from the loading area especially along the contact lines of blocks. From these results, the effect of each block can be seen in wider area clearly.

Next, the authors converted the stresses into a load. Figure 4 shows the configuration of TH, and Table 1 shows an example of the total load value in measured area, about 1 m x 1 m. There are about 40 000 points in total. The number of each block are shown in Table 1.

To know the total loads of the various spreading patterns and block shapes, the authors calculated them as follows: First, the total load was increased by four; next, the load of the central area, 0,5 m x 0,5 m (it is little bigger than the circular loading plate) at the loading area, was reduced. At last, the loads (0,5 m x 0,5 m, Figure 5) obtained from the last experiments were added up to the rest loads for corresponding block shapes and spreading patterns.

Stress analysis by multi layer structural theory was made to compare this value with those of the asphalt pavements and the concrete pavements. Elastic layer structure analyzing program (ELSA) is used to analyze the pavement structures. The pavement structures are composed of three layers (Figure 6). The parameters taken into consideration are layer depth, Young modulus and Poisson's ratio and the values of layers are written in Figure 6, too.

From these calculations, the total cumulative loads of square areas from the loading center are expressed in the Figure 7. It was found that the load distribution of concrete block pavements concentrates near the loading area and it is bigger than the total load of asphalt pavements. But the cumulative loads of concrete block pavements were, roughly speaking, below that of asphalt pavements and above that of concrete pavements. Namely the load spreading ability of concrete block pavement is little different from those of the asphalt pavement and concrete pavement. And, in general, it stands between the abilities of the asphalt pavement and the concrete pavement except near the loading area.

4. CONCLUSION

This study tried to make the stress distribution under the concrete blocks clear by using the reactive paper and, in terms of bearing capacity, tried to place the concrete block pavement among general pavement forms which have the continuous surface layers. It is shown that behavior of individual block influences the stress distribution greatly. Accordingly, the concrete block pavement has a unique function as pavement structure. In other words, since the concrete block pavement consists of small segments, the area near the loading area is loaded a little bigger than the other pavements. But, the total load distributing ability of the concrete block pavement stands between those of asphalt pavement and concrete pavement. Accordingly, the concrete block has a well bearing capacity when it is used on carriage ways.

5. REFERENCES

1. JAPAN ROAD ASSOCIATION. Manual for design and construction of asphalt pavement. -- Tokyo : JRA, 1988. -- P.v.

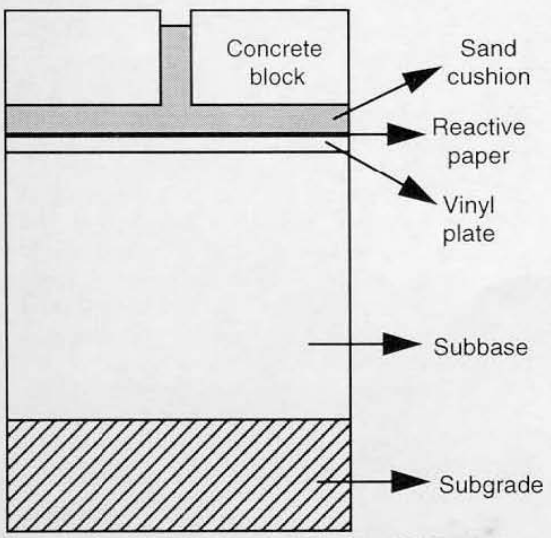
2. MURAI, Sandanori; TAKAHISHI, Hikoto; NAKAJYO, Kafuro. Study on the behaviour of concrete blocks under vehicular loads. -- P.281-286. // In: CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE NEW ZEALAND'92 : INTERNATIONAL CONFERENCE (4 : 1992 : Auckland). Proceedings. -- Porirua : C&CA of NZ, 1992. -- 3vol.

3. MURAI, Sandanori; TAKAHASHI, Hikoto; OKAWA, M. Stress distribution under concrete blocks. -- P.253-260. // In: CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE ISRAEL'96 : INTERNATIONAL CONFERENCE (5 : 1996 : Tel-Aviv : Technion, 1996. -- 727p.

4. WATSON, J. Highway construction and maintenance. -- New York : John Wiley, 1988. -- P.V.

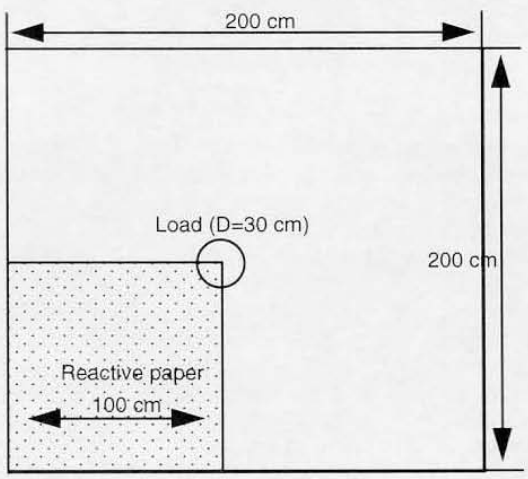
Stress/ 4	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,025	1,7	12,975	0,5	4,675	1,775	0,5	2,975	3,925	2,075	3,85	0,975	0,5	1,15	0,925	1,575
0,075	3,375	1,2	0,45	2,475	0,225	0,675	1,575	0,975	0,525	0,675	0	0,525	2,625	0	0
0,125	2,625	0,375	0,125	0,125	0,5	0,75	1,125	1,25	0	0,625	0	0,125	2	0	0
0,175	3,325	0,875	0,175	0	0	0,175	0,875	0,175	0	0,35	0	0	0,7	0	0
0,25	16,25	0,5	0	0	0	0	1,25	0	0	0	0	0	0,75	0	0
0,375	88,125	0,75	0	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	39	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0,625	32,5	3,125	0	0	0	0	8,75	0	0	0	0	0	0	0	0
0,75	46,5	0,75	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0
0,875	32,375	0,875	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
1	64	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,125	47,25	11,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,25	63,75	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	61,5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,75	36,75	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	36	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,25	24,75	20,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	32,5	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	632,275	115,925	1,25	7,275	2,5	2,1	44,3	6,325	2,6	5,5	0,975	1,15	7,225	0,925	1,575
	69,4312	12,7299	0,13726	0,79888	0,27453	0,2306	4,86466	0,69456	0,28551	0,60396	0,10707	0,12628	0,79339	0,10158	0,17295

Table 1. Calculation for total load (TH, part).
Tabla 1. *Cálculo de la carga total (TH, part).*



Concrete block / *Adoquin* - Sand Cushion / *Capa de arena* - Reactive Paper / *Papel sensible* - Vinyl Plate / *Lámina de vinilo* - Subbase / *Base* - Subgrade / *Subrasante*,

Figure 1. Block pavement structure.
Figura 1. *Estructura del pavimento de adoquines.*



Load / *Carga* - Reactive paper / *Papel sensible.*

Figure 2. Measured area.
Figura 2. *Área de medición.*

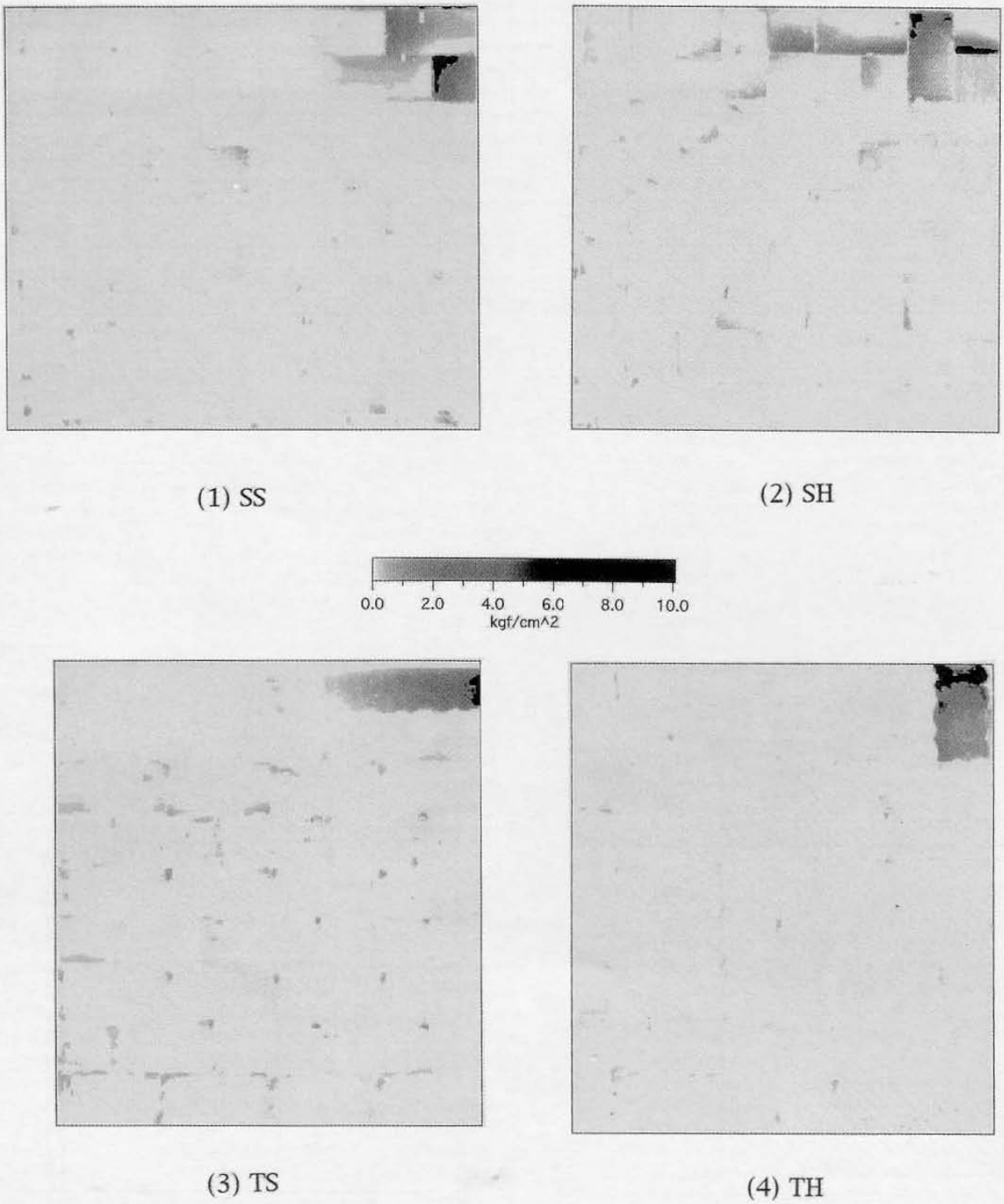


Figure 3. Stress distribution (CG).
Figura 3. *Distribución de esfuerzos (CG).*

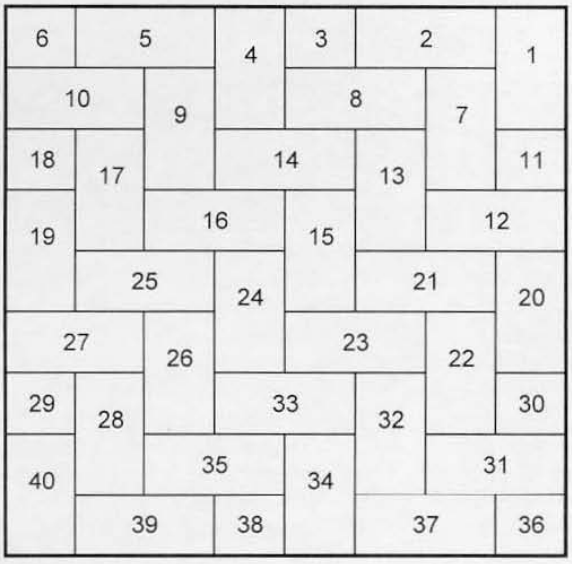
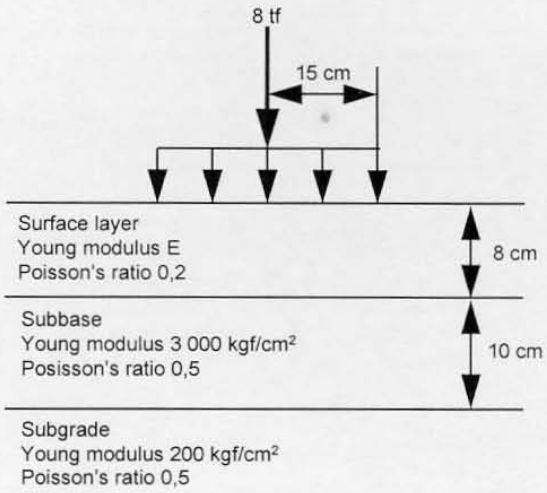


Figure 4. Block configuration (TH).
Figura 4. *Configuración de los adoquines (TH).*



Surface layer / Capa superficial - Young modulus / Módulo de Young - Poisson's ratio / Relación de Pisson - Subbase / Base - Subgrade / Subrasante

Figure 6. Analyzed structure.
Figura 6. *Estructura analizada.*

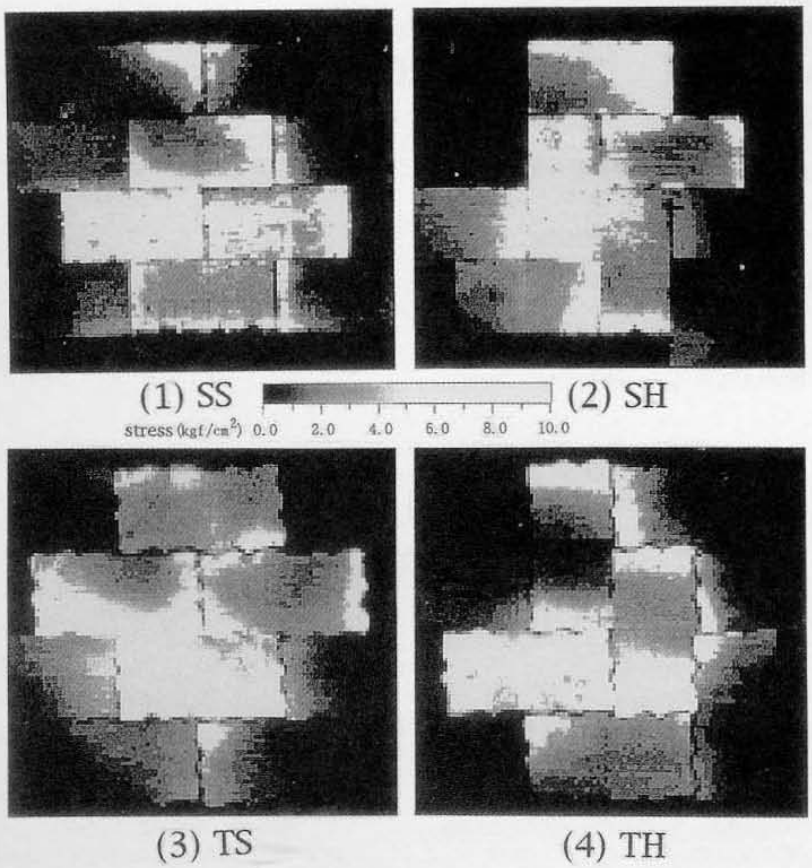
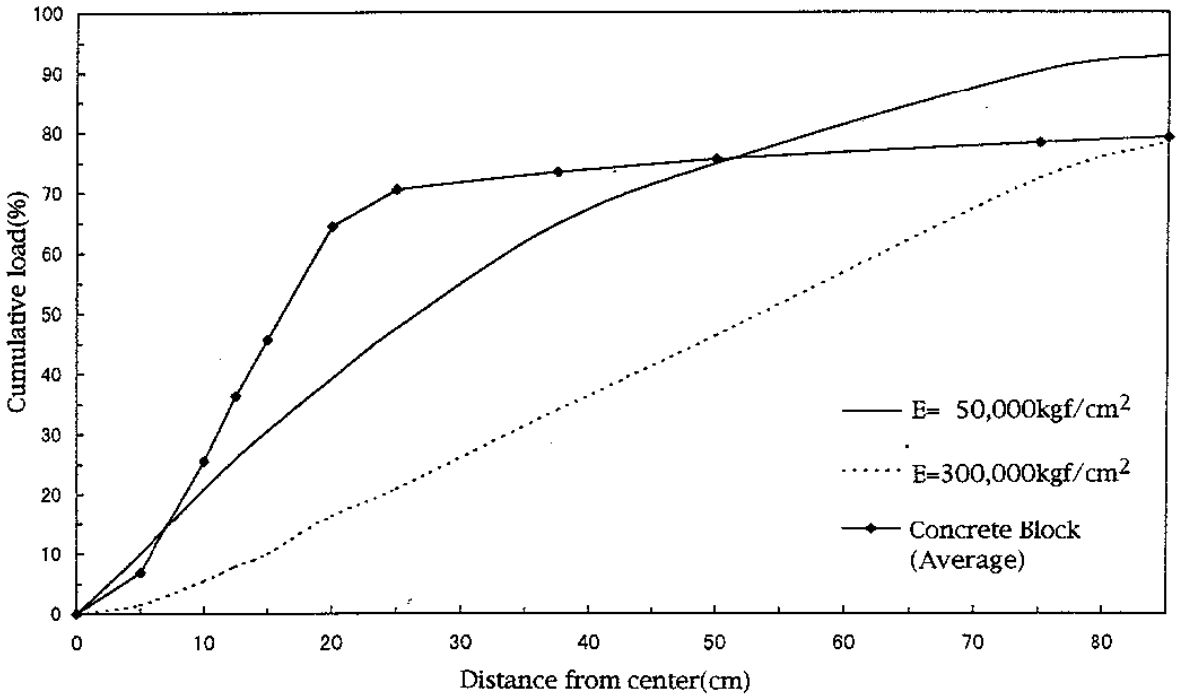


Figure 5. Stress distribution (CG).
Figura 5. *Distribución de esfuerzos (CG).*



CARGA ACUMULADA (%) vs DISTANCIA DESDE EL CENTRO (cm)
Concrete Block (Average) / Promedio para los adoquines,

Figure 7. Cumulative load.
Figura 7. *Cargas acumuladas.*

MEDICIONES DE LA DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS DEBAJO DE ADOQUINES Y COMPARACIÓN CON VALORES ANALÍTICOS [3] [4]

Sandanori MURAI
Profesor
INSTITUTO TECNOLÓGICO TOHOKU
Sendai, Japón
Hikoto TAKAHASHI
Profesor
INSTITUTO TECNOLÓGICO TOHOKU
Sendai, Japón
T. YAMASE

TONECHIKAGIJYUTU INC.
Tokio, Japón

RESUMEN

En Japón se diseña el pavimento de adoquines de concreto de acuerdo con el método de diseño de pavimento de asfalto [1]. Pero la función de distribución de esfuerzos en los adoquines es un poco diferente de tal función en el asfalto o en las superficies de pavimento de concreto. Es muy importante aclarar el comportamiento específico de los pavimentos de adoquines de concreto. Los autores mostraron la distribución de esfuerzos debajo de los pavimentos de adoquines de concreto, cerca del

[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. La Bibliografía se incluyó sólo en la versión original de cada ponencia.

[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.

punto de carga [2, 3]. Esta vez, bajo la misma condición, los autores presentaron la distribución de esfuerzos bajo los adoquines, en un área más amplia. En este estudio se midió experimentalmente la distribución de esfuerzos debajo de los adoquines y se la comparó con los valores analíticos calculados por la teoría multicapas, la cual ha sido aplicada a los pavimentos de asfalto y a los de concreto.

Partiendo de los resultados, la función de distribución de esfuerzos de los adoquines, se expresó como una parte del carácter general de las superficies de pavimento.

Y se mostró, que la capacidad de distribución de carga, en el pavimento de adoquines, se sitúa principalmente entre la de los pavimentos de concreto y la de los pavimentos de asfalto, excepto cerca del área de carga.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando los adoquines se utilizan como capa superficial, se restringe el movimiento de cada adoquín. Ocurre, simultáneamente, algún desplazamiento rígido y alguna deformación plástica como respuesta a la fuerza externa [4]. Esta es característica en los pavimentos de adoquines de concreto y es diferente de otras formas de pavimento que tienen superficies continuas. Como consecuencia, la distribución de esfuerzo debajo de los adoquines es grandemente afectada por el comportamiento de cada adoquín. Ya se ha mostrado la distribución del esfuerzo debajo de los pavimentos de adoquines de concreto cerca al punto de carga [3]. Esta vez los autores muestran los resultados midiendo la distribución de esfuerzos debajo de los adoquines en un área más amplia, bajo la misma condición. Luego, los resultados fueron combinados con los últimos resultados experimentales. Y las cargas totales fueron comparadas con los valores analíticos calculados por la teoría elástica de multicapas, la cual ha sido aplicada a los pavimentos asfaltados y a los de concreto. A partir de los resultados, la función de distribución de esfuerzo de los adoquines vino a ubicarse dentro del carácter general de las superficies pavimentadas.

2. EXPERIMENTO

El experimento fue llevado a cabo al interior de un foso de ensayo. Los pavimentos tenían las mismas estructuras que los últimos experimentos. La Figura 1 muestra las estructuras del pavimento de adoquines utilizadas para los experimentos. El área del pavimento de adoquines de concreto era de 2 m x 2 m. La estructura del pavimento estaba compuesta de una capa de adoquines de concreto, una capa de arena y por la base. Se insertó el papel sensible de aproximadamente 1 m x 1 m, entre la capa de arena y la base. Se colocó una delgada capa de cloruro de vinilo debajo del papel sensible para liberarse de la influencia de la superficie irregular de la base.

El área de medición del papel sensible, se muestra en la Figura 2. Debería ser mejor medir estos esfuerzos en el área total. Pero como ésto supone mucho trabajo, se han medido los datos de un cuarto del área.

Los patrones de colocación de los adoquines eran en hiladas y en espina de pescado, y sus formas eran de tipo recto sencillo (forma rectangular) y los Top Type (de forma no rectangular). En los experimentos se utilizó una carga circular de 8 t (78,4 kN). Como pudo verse a partir de la condición, todos los experimentos eran ejecutados de la misma manera que el último documento [3] excepto el área medida.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y CONSIDERACIONES

Se obtuvo un valor del esfuerzo para cada área de 5 mm x 5 mm. En consecuencia se obtuvieron, para cada adoquín, alrededor de 200 x 400 valores de esfuerzos. La distribución de todos estos esfuerzos se muestra en la Figura 3, en forma de gráficos de computador. Los significados de las abreviaturas de este cuadro son las siguientes:

SS: Adoquín rectangular en patrón en hiladas.
SH: Adoquín rectangular en patrón de espina de pescado.
TS: Top Type en patrón en hiladas.
TH: Top Type en patrón de espina de pescado.

Se muestra la distribución de esfuerzos para cada forma de adoquín y cada patrón de colocación. La concentración de esfuerzos ocurre debajo los adoquines cerca al área de carga. Pocos esfuerzos mayores de un cierto nivel, se notan en partes lejanas del área de carga, especialmente a lo largo de las líneas de contacto de los adoquines. Partiendo de estos resultados, el efecto de cada adoquín puede verse claramente en un área más amplia.

Luego los autores transforman los esfuerzos en una carga. La Figura 4 muestra la configuración de TH y la Tabla 1 muestra un ejemplo del valor de la carga total en el área medida, aproximadamente 1 m x 1 m. En total hay alrededor de 40 000 puntos. El número de cada adoquín se muestra en la Tabla 1.

Para conocer las cargas totales de los diversos patrones y formas de los adoquines, los autores las calcularon como sigue: Primero, la carga fue incrementada por 4; enseguida la carga del área central, 0,5 m x 0,5 m (es un poco mayor que la placa circular de carga) en el área de carga fue reducida. Finalmente, las cargas (0,5 m x 0,5 m, Figura 5) obtenidas de los últimos experimentos fueron sumadas a las cargas restantes para las formas de adoquines y modelos correspondientes.

El análisis de los esfuerzos por la teoría estructural de multicapas, se hizo para comparar este valor con los de los pavimentos de asfalto y los de concreto. El programa de análisis de estructuras de capas (ELSA) se utilizó para analizar las estructuras del pavimento. Las estructuras del pavimento están compuestas de tres capas (Figura 6). Los parámetros tomados en consideración son: Profundidad de la capa, el módulo de Young y el coeficiente de

Poisson, y los valores de las capas están escritas también en la Figura 6.

Partiendo de estos cálculos, las cargas cumulativas totales de áreas partiendo del centro, se expresan en la Figura 7. Se encontró que la distribución de cargas en pavimentos de adoquines de concreto se concentra cerca al área de carga, y que ésta es mayor que la carga total de los pavimentos de asfalto. Pero las cargas cumulativas de los pavimentos de adoquines de concreto estaban, hablando de manera aproximada, por debajo de las de los pavimentos de asfalto y por encima de la de los pavimentos de concreto. Es decir, la habilidad del pavimento de adoquines de concreto para distribuir la carga, es poco diferente de la que tienen los pavimentos de asfalto y los de concreto. En general, tal habilidad se ubica entre la habilidad del pavimento de asfalto y la del pavimento de concreto, excepto cerca del área de carga.

4. CONCLUSIÓN

Este estudio trató de aclarar la distribución de esfuerzos debajo de los adoquines utilizando el papel sensible; y, en términos de capacidad, trató de ubicar el pavimento de adoquines de concreto entre las formas generales de pavimento que tienen las capas de superficie continua. Se muestra que el comportamiento del adoquín individual, influye grandemente en la distribución de los esfuerzos. En consecuencia, el pavimento de adoquines de concreto tiene una función característica como estructura de pavimento. En otras palabras, puesto que el pavimento de adoquines de concreto consta de pequeños segmentos, el área cercana a la carga aplicada recibe un poco más carga que en los otros pavimentos. Pero la habilidad del pavimento de adoquines de concreto para distribuir la carga total, se ubica entre la que es propia de los pavimentos de asfalto y la de los pavimentos de concreto. Consecuentemente, el adoquín tiene una buena capacidad cuando es utilizado en vías.