

en pavimentos o cubiertas incluyéndose al volumen de pruebas de campo para el material. En la categoría de desconocidas están un número de propiedades que son particularmente importantes en pavimentos (Figura 2). Los resultados contenidos en la única publicación sobre fatiga (13) sugieren que el límite de resistencia del concreto reforzado con fibras de acero puede ser significativamente más alto que el 50% de las resistencias a la carga estática común utilizada para concreto simple, pero se necesita información más substancial. Para concretos reforzados con fibra de acero hay indicación de mejora en resistencia al desgaste, pero no necesariamente resistencia al derrapamiento. Además, la acción reforzante de cualquier tipo de fibra parece proporcionar resistencia adicional a las fuerzas constantes de exfoliación bajo ciclos de hielo y deshielo. Sin embargo, en todos los casos hay poca información substancial, y mucho queda por hacerse antes de que los beneficios de incluir acero u otros tipos de fibras en concreto convencionalmente mezclado sean completamente comprendidos.

APLICACIONES.

Fibra de acero.

Se calcula (14) que al menos el 70% del total de los trabajos de campo con concreto reforzado con fibra, casi exclusivamente con fibra de acero, ha comprendido la construcción de nuevas carreteras o aeropistas cubiertas para pavimentos de carreteras o aeropistas, reparaciones de cubiertas para puentes y reparación de estructuras de concreto masivo como presas, alcantarillas, etc... Notable por su tamaño es el puente de 6,567 m³ (11,000 yd³) colado en la primavera de 1976 en el aeropuerto de Las Vegas (8). La cubierta del puente es de 15 cm (6 pulgadas) de espesor, 96 kg/m³ (160 lb/yd³), con láminas de fibra de acero y colocadas en tiras longitudinales de 7.6 m (25 pies) con juntas de contracción transversales a cada 15.2 m (50 pies). Las resistencias a la flexión a los 28 (veintiocho) días excedieron los 70 kg/cm² (7 MPa). El costo fue de \$128.00 M. N. por m³ (\$98 dólares por yd³) a una escala similar, la cubierta de Fort Hood (7) a una área especial equipada para soportar tanques y otros vehículos de remolque involucra el uso de 2426 m³ (4064 yd³) de concreto fibroso de 100 a 130 mm (4 a 5 1/4 pulg) de espesor con 120 kg/m³ (200 lb/yd³) de fibra de acero. La resistencia a la flexión fue de 74 kg/cm² (7.26 MPa) a los 28 días y de 85 kg/cm² (8.37 MPa) a los 90 días. El costo fue más o menos de \$107.00 dólares por m³ (\$82.00 por yd³), y el funcionamiento hasta la fecha se reporta como satisfactorio. Una importante cubierta sobre carretera de prueba incorporando muchas variables como concentración de fibras, naturaleza de la condición de adherencia, espesor, etc... fue efectuada en Greene County, Iowa (15), y terminada en 1973. Comprende un total de 29 secciones de concreto fibroso con longitudes de 61 - 183 m (200 - 600 pies), lo que equivale a 4.88 km (3.03 millas).

Las pruebas de campo sobre la superficie de pavimentos nuevos son menos numerosas y hasta la fecha a escala más pequeña. Se efectuaron ensayos hechos por el Laboratorio de Investigación de Ingeniería en Construcción del Ejército de los Estados Unidos (16) utilizando carga simulando el peso de un avión militar de transporte C5A en una losa de concreto simple de 25.4 cm (10 pulg) y una de 15 cm (6 pulg) de concreto reforzado con fibra de acero con 2% de fibra, 159 kg/m³ (267 lb/yd³). El concreto simple falló totalmente después de 950 cargadas, mientras

que el concreto fibroso sostuvo 1400 cargadas antes de que apareciera la primera grieta fina (pelo de cabello), y estaba en condición de servicio después de 8,700 cargadas. Se ha obtenido interesante información del comportamiento de una sección de prueba de 15 losas de 55 m (180 pies) construida en 1973 por el que escribe en una ruta de transporte dentro del campo de la Universidad (11, 17), y el rasgo más notable es que siendo una losa de 7.5 cm (3 pulg) con 1% 79 kg/m³ (133 lb/yd³) de fibra no tiene señal de agrietamiento después de 3 años mientras que una losa de concreto simple de 15 cm (6 pulg) se le han empezado a formar grietas. Un proyecto más comprensible fue terminado en septiembre de 1976 en una vía pública importante en el centro de Calgary, comprendiendo 18 (dieciocho) losas del tipo de fibra 7.6 x 7.0 m (25 x 35 ft), y dejando la concentración de fibra y el esfuerzo de la losa como variables.

Se reporta por Lankard y Walker (15) un total de ocho cubiertas de puentes bajo prueba hasta julio de 1974, y más se han construido desde entonces. El comportamiento hasta la fecha en muchos de los casos es muy prometedor, y parece ser que el concreto reforzado con fibra de acero puede remediar a un grado significativo, el extenso problema a causa del clima del Norte, en cuanto al deterioro de las cubiertas de los puentes.

El concreto reforzado con fibra de acero ha jugado una parte importante en la reparación de grandes hoquedades causados por cavitación o erosión en las estructuras de varias presas importantes. También ha comprobado ser efectivo y económico en un número de aplicaciones con concreto lanzado para alinear y reforzar líneas subterráneas y para estabilizar taludes de roca adyacentes a vías del ferrocarril o carreteras, siendo una de las más notables el proyecto de estabilizar un talud de roca sobre una vía de ferrocarril en el cañón de Snake Rock en el Estado de Washington (19).

Además de todos los trabajos de campo reportados anteriormente, hay otros casos registrados del uso de concreto reforzado con fibras de acero en la reparación de una variedad de estructuras de concreto (Tabla 2). También hay uso limitado de volúmenes de concreto en una variedad de unidades precoladas (Tabla 2), una, la más grande, tiene los lodos con doble terminación T de 4.6 m (15 pies) de largo y 1.5 m (5 pies) de diámetro y son utilizadas como unidades armadas para escolleras en Eureka, California para disipar la energía del oleaje y sus efectos (rompeolas).

Fibra de vidrio.

Hasta la fecha las aplicaciones involucrando fibra de vidrio están basadas mayormente en el proceso de aspersión-bombeo utilizando una matriz de pasta de cemento fluida. Sin embargo, aunque la resistencia potencial de las fibras de vidrio en especímenes de concreto preparados en el laboratorio mezclando el concreto en forma convencional, han mostrado ser comparables a su equivalente en fibras de acero (9, 21), la aceptación de este material en el campo de pruebas ha sido muy limitada.

El escritor tiene conocimiento de únicamente un ejemplo, el de un proyecto de una cubierta de carretera en Minnesota, consistiendo de algunas secciones con fibra de acero. En este caso, las fibras de vidrio, 96 kg/m³ (160 lb/yd³), con longitud de 25 mm (1 pulg), hicieron difícil el transporte, colocación y acabado del concreto. También fue más alta la demanda de agua 4,322 kg/m³ (540 lb/yd³) -

TABLA 2

APLICACIONES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO.

PROCEDIMIENTO DE FABRICACION	APLICACION
Construcción masiva de concreto	Nuevos Pavimentos o Pisos de Puentes
" " " "	Pisos Industriales
" " " "	Concreto reforzado (acero inoxidable)
Reparación masiva de concreto	Pavimentos o pisos de puentes
" " " "	Vertedores de presas, drenajes, etc.
Concreto lanzado	Estabilización de pendientes rocosas
" " " "	Construcción de minas y túneles
" " " "	Edificios (penitenciarios)
Prefabricados	Losas para estacionamientos de carros
" " " "	Tubería de agua
" " " "	Puentes de pontones
" " " "	Barcazas
" " " "	Dolos rompeolas
" " " "	Postes para alumbrado
" " " "	Tapas de alcantarillas
" " " "	Bases o marcos para maquinaria
" " " "	Componentes refractarios (acero inoxidable)
" " " "	Bóvedas de seguridad
" " " "	Gavetas para tumbas
" " " "	Puntas de pilotes
" " " "	Moldes
" " " "	Juntas de expansión (bordes)

que la del equivalente en concreto con fibras de acero 203 kg/m³ (340 lb/yd³). También se experimentaron dificultades en el acabado, posiblemente en gran parte debido a muy fuertes lluvias. A pesar de las dificultades tan severas enfrentadas en este caso, las fibras de vidrio no necesariamente deben ser consideradas totalmente inadecuadas para el concreto hasta que se haya adquirido más experiencia. Como conocedores de concreto, los expertos saben que es muy fácil elaborar concreto de baja calidad sin fibras. Es aún más fácil hacerlo con fibras si el tipo de revoladora, la secuencia de mezclado y diseño del proporcionamiento son inadecuados, y, mientras que ya se ha adquirido suficiente información basada en experiencia en el campo con fibras de acero para sobrellevar los problemas, dicha experiencia aún no se ha obtenido con las fibras de vidrio.

Fibras de Polipropileno.

Como antes se mencionó en este trabajo, las fibras de polipropileno tienen poco efecto reforzante bajo cargas estáticas normales. Su mayor beneficio es en cargas bajo condiciones de impacto. Mientras que esto limita la cantidad de aplicaciones potenciales, hay al menos dos éxitos comerciales notables.

En Inglaterra, la compañía Wests Piling and Construction Ltd. ha mejorado significativamente la resistencia al agrietamiento o cuarteadura de sus unidades de secciones de pilotes de concreto huecos debido a la acción del hincado substi-

tuyendo el refuerzo de malla de acero con un 0.6% en volumen de polipropileno fibrilado de 40 mm (1.6 pulg) de largo (22). También en Inglaterra, la compañía -- John Laing & Son. Ltd. está produciendo un concreto espumoso bastante ligero llamado Faircrete (23) utilizado decorativamente en forma de paneles prefabricados en los cuales se han incorporado fibras de monofilamento de polipropileno para rigidizar la mezcla a manera de moldearla en acabados arquitectónicos, y para mejorar la resistencia de las unidades terminadas durante el manejo, transportación y colocación.

Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete Pavement", Reference 1, pp. 361-374.

Johnston, C. D., "Effect of Steel Fibres on the Compressive Strength of Concrete", Reference 2, pp. 201-204.

Johnston, C. D. and Coleman, R. A., "Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar in Uniaxial Tension", Reference 3, pp. 113-118.

Edington, J., Hannant, D. L., and Williams, J. T., "Steel Fibre Reinforced Concrete", Building Research Establishment (U.K.), Current Paper 69/1, July 1971.

Williamson, G. R., "Fibre Reinforced Concrete", Reference 4, pp. 453-459.

Private Correspondence with Investigating Staff, Macarthur Island Airport, Las Vegas, Nevada.

Marsh, R. M., and Clarke, J. L., "Glass Fibres in Concrete", Reference 5, pp. 247-253.

Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete Pavement - Second Report", Reference 6, pp. 400-410.

Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete", Reference 7, pp. 113-118.

Concrete Beans, "American Concrete Institute, Proceedings Vol. 69, No. 23, Nov. 1972, pp. 673-677.

Langford, D. R., "Fibre Concrete Applications", Reference 8, pp. 3-12.

REFERENCIAS

1. Ryder, J. F., "Applications of Fibre Cement", Proceedings of an International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete *, RILEM, London, September 1975, pp. 23 - 38.
* Published by Construction Press Ltd., Hornby, Lancaster, England.
2. Sarkar, S. and Bailey, M. B., "Structural Properties of Carbon Fibre Reinforced Cement", Reference 1, pp. 361 - 374.
3. Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete - A Review of Mechanical Properties", American Concrete Institute Special Publication, SP-44, July 1974, pp. 127 - 142.
4. Williamson, G. R., "Effect of Steel Fibres on the Compressive Strength of Concrete", Reference 3, pp. 195 - 207.
5. Johnston, C. D. and Coleman, R. A., "Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar in Uniaxial Tension", Reference 3, pp. 177 - 193.
6. Edgington, J., Hannant, D. J., and Williams, R. I. T., "Steel Fibre Reinforced Concrete", Building Research Establishment (U.K.), Current Paper 69/74, July 1974.
7. Williamson, G. R., "Fort Hood Fibre Concrete Overlay", Reference 1, pp. 453 - 459.
8. Private Correspondence with Engineering Staff, McCarran Int. Airport, Las Vegas, Nevada.
9. Marsh, H. N., and Clarke, L. L., "Glass Fibres in Concrete", Reference 3, pp. 247 - 263.
10. Luke, C. E., Waterhouse, B. L., and Wooldridge, J. F., "Steel Fibre Reinforced Concrete Optimization and Applications", Reference 3, pp. 393 - 412.
11. Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete Pavement - Second Interim Performance Report", Reference 1, pp. 409 - 418.
12. Shah, S. P., and Rangan, B. V., "Fibre Reinforced Concrete Properties", American Concrete Institute, Proceedings Vol. 68, No. 2, Feb. 1971, pp. 126 - 134.
13. Batson, G. B. et al, "Flexural Fatigue of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams", American Concrete Institute, Proceedings Vol. 69, No. 11, Nov. 1972, pp. 673 - 677.
14. Lankard, D. R., "Fibre Concrete Applications", Reference 1, pp. 3 - 19.
15. Knutson, M. J., "Greene County, Iowa, Concrete Overlay Research Project," American Concrete Institute, Special Publication SP-51, Aug. 1975, pp. 175 - 196.
16. Hutchinson, R. L., "Performance of Concrete Pavements Subjected to Wide-Body Jet Aircraft Loading", Reference 15, pp. 125 - 160.
17. Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete Pavement - Construction and First Interim Performance Report", Reference 15, pp. 161 - 174.
18. Lankard, D. R. and Walker, A. J., "Pavement Application for Steel Fibrous Concrete", American Society of Civil Engineers, Transportation Engineering Journal, Vol. 101, No. TE-1, Feb. 1975, pp. 137 - 153.
19. Kaden, R. A., "Slope Stabilized with Steel Fibrous Shotcrete", Western Construction (U.S.A.), April 1974, pp. 30 - 33.
20. Barab, S., and Hanson, D., "Investigation of Fibre Reinforced Breakwater Armour Units", Reference 3, pp. 415 - 434.
21. Johnston, C. D., "Fifty Year Developments in High Strength Concrete", American Society of Civil Engineers, Construction Division Proceedings, Vol. 101, No. CO-4, Dec. 1975, pp. 801 - 818.
22. Fairweather, A. D., "Use of Polypropylene Film Fibres to Increase Impact Resistance of Concrete", Proceedings of an International Conference on Fibre Reinforced Construction Materials, Building Research Station (U.I.C.), Nov. 1971, pp. 41 - 44.
23. Hobbs, C., "Faircrete: An Application for Fibrous Concrete", Reference 22, pp. 59 - 67.

CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

15. Knutson, M. J., "Greene County, Iowa, Concrete Overlay Research Project," American Concrete Institute, Special Publication SP-51, Aug. 1975, pp. 175 - 196.
16. Hutchinson, R. L., "Performance of Concrete Pavements Subjected to Wide-Body Jet Aircraft Loading", Reference 15, pp. 125 - 160.
17. Johnston, C. D., "Steel Fibre Reinforced Concrete Pavement - Construction and First Interim Performance Report", Reference 15, pp. 161 - 174.
18. Lankard, D. R. and Walker, A. J., "Pavement Application for Steel Fibrous Concrete", American Society of Civil Engineers, Transportation Engineering Journal, Vol. 101, No. TE-1, Feb. 1975, pp. 137 - 153.
19. Kaden, R. A., "Slope Stabilized with Steel Fibrous Shotcrete", Western Construction (U.S.A.), April 1974, pp. 30 - 33.
20. Barab, S., and Hanson, D., "Investigation of Fibre Reinforced Breakwater Armour Units", Reference 3, pp. 415 - 434.
21. Johnston, C. D., "Fifty Year Developments in High Strength Concrete", American Society of Civil Engineers, Construction Division Proceedings, Vol. 101, No. CO-4, Dec. 1975, pp. 801 - 818.
22. Fairweather, A. D., "Use of Polypropylene Film Fibres to Increase Impact Resistance of Concrete", Proceedings of an International Conference on Fibre Reinforced Construction Materials, Building Research Station (U.I.C.), Nov. 1971, pp. 41 - 44.
23. Hobbs, C., "Faircrete: An Application for Fibrous Concrete", Reference 22, pp. 59 - 67.

CURRICULUM VITAE

Graduado en la Universidad Queen, Belfast, Irlanda del Norte, con experiencia en construcción en Irlanda del Norte. Sus investigaciones han sido orientadas a las propiedades de concreto simple, concreto reforzado con fibras y ferrocemento. Actualmente es profesor asociado en Ingeniería Civil en la Universidad de Calgary, Alberta, Canadá y director de M. & S. Research Consulting Ltd, es miembro de ASTM y ACI. Octubo la medalla Wason de ACI en abril de 1976 por sus trabajos sobre Concreto Reforzado con Fibra de Acero.