

se llegaba a la máxima tensión de aro. Los conos 4 y 5 impregnados con polímeros fallaron en forma similar, pero más o menos explosivamente.

Las curvas de carga-deformación para los conos 3, 4 y 5 (de control sin refuerzo, reforzado e impregnado con MMA, y reforzado e impregnado con MMA/nBA (40/60) respectivamente, revelaron incrementos hasta de tres veces en las cargas y deformaciones últimas en los especímenes impregnados como fue observado en los ensayos uniaxiales con los cilindros (Tabla 5, Figura 19). En todos los casos, los conos conteniendo nBA mostraron una ductilidad notable con deformaciones (a cargas correspondientes) variando hasta en 5 veces más que los valores para el cono impregnado con PMMA. Interesantemente, los conos 4 y 5 soportaron casi las mismas cargas últimas, aun cuando la resistencia (según medida en los ensayos uniaxiales con cilindros) del material del cono 5 es 40% más bajo que aquélla del cono 4. Uno puede concluir que el cono 4 soportó una carga elevada debido a una rigidez y resistencia inherentes más elevadas, mientras que el cono 5 soportó una carga similar debido al aumento en su capacidad de deformación, la cual impidió el crecimiento de las grietas iniciadas por la tensión de aro. Entonces, al menos para una figura cónica, los especímenes ricos en nBA pueden comportarse mejor en todo, que aquéllos conteniendo únicamente un polímero quebradizo.

Los conos reforzados con alambre y malla exhibieron curvas de carga-deformación (no mostradas) generalmente parecidas a aquéllas de conos reforzados con MMA/nBA. Sin embargo, la naturaleza de la falla fue diferente; con refuerzo de alambre la capa exterior se resquebrajó de abajo y se observó un patrón no uniforme, en cuanto al refuerzo con malla, se desarrollaron grietas chicas y uniformes.

Los conos 10 y 11 reforzados con malla y alambre (impregnados con MMA/nBA/TMPIMA 60/40/10) lograron resistencias iguales (Tabla 5) con un promedio de 54934 kgs (540 kN) en comparación con 38, 136-40, 860 kgs (356-400 kN) para conos impregnados con polímero y de 13620 kgs (134 kN) para conos de control. Por lo tanto, en este caso, se suman los efectos del refuerzo con acero y del polímero. Los modos de falla de los conos 10 y 11 fueron intermedios entre aquéllos de los conos 4 y 5 impregnados con polímero y de los conos 6 y 7 reforzados con acero. Sin embargo, los especímenes reforzados con alambre si exhibieron, fallas de adherencia sin ruptura del alambre en contraste con aquéllos reforzados con malla.

En cualquier caso, es evidente que la impregnación con un polímero dúctil puede conferir incrementos significantes en la rigidez y resistencia de un elemento estructural, especialmente si el espécimen está reforzado con malla de acero.

RECONOCIMIENTOS.

La investigación de la cual se reporta fue conducida en parte, bajo los auspicios de la National Cooperative Highway Research Program Project 18-2 (J. A. Manson, W. F. Che y J. W. Vanderhoff, Director y Co-Investigadores, respectivamente). Parte del trabajo fue sub-contratado por la Universidad del Estado de Pennsylvania bajo la dirección de D. E. Kline y P. D. Cady. El patrocinio del programa cubierto por este informe fue reunido con donativos del Pennsylvania Science and Engineering Foundation bajo contratos separados con la Universidad de Lehigh (Proyecto 150; J. A. Manson y J. W. Vanderhoff, co-investigadores) y con la Universidad del Estado de Pennsylvania (Proyecto 151; D. E. Kline y P. D. Cady, co-investigadores). Asistiendo en la Universidad de Lehigh, estuvieron el Dr. J.

D. Hoffman y Messrs. H. C. Mehta E. Dahl-Jorgensen, P.N. Nhaway y Y. N. Liu. Asistiendo en la Universidad del Estado de Pennsylvania estuvieron los Drs. P. R. Blankenhorn y L. Shuler y Messrs. D. A. Whiting, D. C. Pu, R. E. Weyers y L. Stover.

Los investigadores también desean reconocer la ayuda y cooperación de los siguientes: Sr. Wade Gramling, Ing. Investigador del Departamento de Transportes de Pennsylvania (PennDOT); Sr. R. M. Tirpak, Ing. de Puentes (Distrito 5-0), PennDOT; Dr. R. M. Barnoff, Profesor de Ingeniería Civil, la Universidad del Estado de Pennsylvania y Messrs. K. Harpel, C. Hittinger, R. Dales y R. Kromer, Universidad de Lehigh. Las opiniones y conclusiones expresadas en este trabajo son del autor y no necesariamente de las agencias patrocinadoras.

1. G. M. Idorn, "Polymeric Materials for Concrete", *J. Test. Eval.*, 3, 355 (1975).
2. G. M. Idorn and Z. Fördös, "Cement-Polymer Materials", BNL Report No. 312, Research and Development Division, Aktieselskabet Aalborg Portland-Cement-Fabrik, Karlstrup, 1973.
3. The Concrete Society (London), "Polymers in Concrete", the Construction Press, Ltd., London, 1976; based on papers presented at the First International Symposium on Polymer Concrete, London, 1975.
4. R. D. Browne, M. Adams, and E. L. French, "Experience in the Use of Polymer Concrete in the Building and Construction Industry", ref. 3, paper 7.11.
5. R. N. Swamy, "Some Engineering Implications of Design in Polymer Concrete", ref. 3, paper 7.2.
6. A. M. Neville, "Properties of Concrete", John Wiley and Sons, New York, 1973.
7. M. Steinberg, J. T. Dikeou, B. Colombo, J. J. Kelsch, B. Manowitz, J. T. Dikeou, J. E. Backstrom, S. Rubenstein, "Concrete-Polymer Materials", First Topical Report, BNL 50134 (T-509) and USBR General Report No. 41, Brookhaven National Laboratory, Upton, N. Y., and U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., Dec. 1968.
8. J. T. Dikeou, M. Steinberg, W. C. Cowan, L. E. Kukacka, G. W. DePuy, A. Auskern, W. G. Smoak, P. Colombo, G. B. Wallace, J. M. Hendrie, and B. Manowitz, "Concrete-Polymer Materials, Third Topical Report", USBR REC-71-6 and BNL 50275 (T-602), Jan. 1971.
9. J. T. Dikeou, M. Steinberg, W. C. Cowan, L. E. Kukacka, G. W. DePuy, A. Auskern, W. G. Smoak, P. Colombo, G. B. Wallace, J. M. Hendrie, and B. Manowitz, "Concrete-Polymer Materials, Fourth Topical Report", USBR REC-72-10 and BNL 50328, Jan. 1972.
10. L. E. Kukacka, A. Auskern, P. Colombo, A. Romano, M. Steinberg, G. W. DePuy, F. E. Causey, W. C. Cowan, W. T. Lockman, and W. G. Smoak, "Concrete-Polymer Materials, Fifth Topical Report", REC-ERC-73-12 and BNL 50390, Dec. 1973.
11. M. Steinberg, "Concrete Polymer Materials and Its Worldwide Development", in "Polymer in Concrete", SP-40, Am. Concr. Inst., 1973.

12. (a) "Polymers in Concrete", SP-40, Am. Concr. Inst., 1973; based on symposia held in Hollywood, Fla., 1972, and Atlantic City, 1973.
(b) American Concrete Institute, "Polymers in Concrete", State-of-the-art report, in press, 1976.
13. J. A. Manson and L. H. Sperling, Chapter II, "Polymer Blends and Composites", Plenum, New York, 1976.
14. J. Gebauer and R. W. Coughlin, "Preparation, Properties, and Corrosion Resistance of Composites of Cement Mortar and Organic Polymers", *Cem. Concr. Res.*, 1, 187 (1971).
15. D. G. Manning and B. B. Hope, "The Effect of Porosity on the Compressive Strength and Elastic Modulus of Polymer Impregnated Concrete", *Cem. Concr. Res.*, 1, 631 (1971).
16. D. G. Manning and B. B. Hope, "The Role of the Polymer in Polymer-Impregnated Paste and Mortar", ref. 3, paper 2.3.
17. E. Tazawa and S. Kobayashi, "Properties and Applications of Polymer Impregnated Cementitious Materials", ref. 12(a), p. 57.
18. D. R. Paul and D. W. Fowler, "Surface Impregnation of Concrete Bridge Decks with Polymers", *J. Appl. Polym. Sci.*, 19, 281 (1975).
19. A. Muñoz-Escalona and C. Ramos, "Polymerization Rate and Mechanical Properties of Polymer-Impregnated Mortar", *Cem. Concr. Res.*, 6, 273 (1976).
20. Y. Ohama, "Molecular Weight of Polymer Formed in Polymer-Impregnated Concrete", ref. 3, paper 2.6.
21. B. Stöpler, "Polymer Impregnated Concrete Process Techniques and Applications", ref. 3, paper 6.1.
22. K. Ishizaki, Y. Fukaya, A. Azami, and K. Araoka, "Method of Polymer Loading Measurement and a Few Thermal Properties for Methyl-methacrylate Impregnated Paste and Mortar", Review of 27th General Meeting of the Cement Association of Japan, p. 533-537 (1973).
23. H. Hastrup, L. Bach, and F. Radjy, "Pore Structure, Mechanical Properties, and Polymer Characteristics of Porous Materials Impregnated with Monomers in the Gas Phase", ref. 3, paper 3.6.
24. F. Arredondo, M. D. Cánovas, J. Fontán, E. L. Madruga, and J. San Román, "Characterization of Vinyl Polymers Prepared in Concrete Materials", ref. 3, paper 4.4.
25. A. Rio and S. Biagini, "Recent Progress in the Field of Polymer Impregnated Concrete", ref. 3, paper 1.3.

26. J. A. Manson, W. F. Chen, J. W. Vanderhoff, Y. N. Liu, E. Dahl-Jorgenson, and H. Mehta, "Stress-Strain Behavior of Polymer-Impregnated Concrete", *Polymer Preprints*, 14, 1203 (1973).
27. (a) D. P. H. Hasselman and R. A. Penty, "Stress Concentrations in Polymer-Impregnated Porous Brittle Materials", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 56, 105 (1973).
(b) D. P. H. Hasselman, J. Gebauer, and J. A. Manson, "Elastic Behavior of Polymer-Impregnated Porous Ceramics", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 12, 588 (1972).
28. E. Dahl-Jorgensen, W. F. Chen, J. A. Manson, Y. N. Liu, and J. W. Vanderhoff, "Polymer-Impregnated Concrete: Laboratory Studies", *Transportation Eng. J.*, ASCE 101, No. TE1, Proc. Paper 11101, 29 (1975).
29. H. C. Mehta, J. A. Manson, W. F. Chen, and J. W. Vanderhoff, "Polymer-Impregnated Concrete: Field Studies", *Transportation Eng. J.*, ASCE, 101, No. TE1, Proc. Paper 11103, 1 (1975).
30. J. A. Manson, P. D. Cady, W. F. Chen, D. E. Kline, and J. W. Vanderhoff, "Use of Polymers in Highway Concrete", Final Report, Project 18-2, National Cooperative Highway Research Program, Lehigh University/Pennsylvania State University, Sept. 1975.
31. J. A. Manson, W. F. Chen, J. W. Vanderhoff, P. D. Cady, D. E. Kline, and P. R. Blankenhorn, "Polymer-Impregnated Concrete for Highway and Structural Applications", ref. 3, paper 7.8.
32. H. C. Mehta, W. F. Chen, J. A. Manson, and J. W. Vanderhoff, "Innovations in Impregnation Techniques for Highway Concrete", *Transp. Res. Record*, No. 542, 29 (1975).
33. H. C. Mehta, W. F. Chen, J. A. Manson, and J. W. Vanderhoff, "Polymer Impregnated Concrete for Structural Applications", paper presented Symposium on Polymers in Concrete, ACI meeting, Mexico City, October, 1976.
34. J. A. Manson, "Utilization of Polymer Impregnated Concrete", 2^o. Simposio, Moderna Tecnologia del Concreto, Caracas, November 1975.
35. Y. N. Liu, J. A. Manson, W. F. Chen, and J. W. Vanderhoff, "Polymer Impregnated Mortars 1. Effect of Polymer State on Mechanical Behavior", presented, Symposium on Composites, A.I.Ch.E. Meeting, Atlantic City, Aug. 31, 1976; in press.
36. Y. N. Liu, "Effect of Polymer State on the Mechanical and Transport Behavior of Polymer Impregnated Mortars", Ph.D. thesis, Lehigh University, June, 1976.

37. J. A. Manson, "Polymer Concrete Materials", in press, *Mater. Sci. Eng.*, 1976.
38. W. F. Chen and E. Dahl-Jorgensen, "Polymer-Impregnated Concrete as a Structural Material", *Mag. Concr. Res.*, 26, 16 (1974).
39. D. A. Whiting, P. R. Blankenhorn, and D. E. Kline, "Mechanical Properties of Epoxy Impregnated Concrete", *J. Test. Eval.*, 2, 44 (1974).
40. D. A. Whiting, P. R. Blankenhorn, and D. E. Kline, "Dynamic Mechanical Response of Polymer-Impregnated Mortars", *Polym. Eng. Sci.*, 15, 65 (1975).
41. R. E. Weyers, "The Effects of Road Contaminants on the Impregnation of Bridge Deck Type Concrete with Polymethyl Methacrylate", M. S. Thesis, Pennsylvania State University, June 1974.
42. P. R. Blankenhorn, et al., "Enclosed System for Deep Polymer Impregnation of Concrete Bridge Decks", *Transp. Eng.*, ASCE, 101, No. TE1, Proc. Paper 11102, 65 (1975).
43. R. E. Weyers, P. R. Blankenhorn, P. D. Cady, and D. E. Kline, "The Effects of Deicer Salts on the Pressure Impregnation of Bridge Type Concrete with Methyl Methacrylate", *Cem. Concr. Res.*, 6, 253 (1976).
44. L. E. Kukacka, J. Fontana, A. J. Romano, M. Steinberg, and R. G. Pike, "Concrete Polymer Materials for Highway Applications", Progress Report No. 3, BNL 50417 and FHWA-RD-74-17, December 1973.
45. E. Schrader, "Impregnation of the Dworshak Dam", presented, Symposium on Polymer Concrete, ACI meeting, Mexico City, October 1976.
46. Eimco Quelling and Mining Machinery Division, Envirotech Corporation, "Feasibility Study of Surface Impregnation Equipment for Chemical Stabilization of Coal-Mine Structures", Final Report, Summary (Phase I and II), Report OFR59(1)-73, U. S. Bureau of Mines, 1972; available as PB 225 364, NTIS.
47. D. W. Fowler, J. T. Houston, and D. R. Paul, "Polymer-Impregnated Concrete for Highway Applications", Research Report 114-1, Center for Highway Research, the University of Texas at Austin, Feb. 1973.
48. H. C. Mehta, W. F. Chen, J. A. Manson, and J. W. Vanderhoff, *Transp. Eng. J.*, ASCE, 102, No. TE2, 185 (1976).
49. (a) E. W. Washburn, "Dynamics of Capillary Flow", *Physical Review Series*, 17, 374 (1921).
(b) E. K. Rideal, "On the Flow of Liquids Under Capillary Pressure", *Phil. Mag.*, 44, 1152 (1922).

50. (a) J. W. Vanderhoff, J. D. Hoffman, and J. A. Manson, "Polymer-Impregnated Concrete: Rate of Penetration of Monomer", Polymer Preprints, 14, 1136 (1973).
(b) P. N. Naway, "Dynamics of Water Penetration into Concrete Cylinders", M. S. Thesis, Lehigh University, Aug. 1975.
51. M. S. Abrams and D. C. Orals, "Concrete Drying Methods and Their Effect on Fire Resistance", STP 385, American Society for Testing and Materials, 52 (1965).
52. (a) A. Petzold and M. Rohrs, "Concrete for High Temperatures", Maclaren and Sons, London, England, 1970.
(b) T. Z. Harmethy, "Moisture and Heat Transport with Particular Reference to Concrete", Highway Research Record No. 342, 5 (1970).
53. N. Thaulow, "Sulfur-Impregnated Concrete, SIC", Cem. Concr. Res., 4, 269 (1974).
54. V. M. Malhotra, K. E. Painter, and J. A. Soles, "Development of High Strength Concrete at Early Ages Using a Sulfur Impregnation Technique", ref. 3, paper 6.4.
55. J. Gebauer, D. P. H. Hasselman, and D. A. Thomas, "Effect of Temperature on the Strength of a Polymer-Impregnated Porous Ceramic", J. Amer. Ceram. Soc., 55, 175 (1972).
56. D. M. White, "Polymerization in Urea Canal Complexes", J. Am. Chem. Soc., 82, 5678 (1960).
57. A. Auskern and W. Horn, "Some Properties of Polymer Impregnated Cements and Concretes", J. Amer. Ceram. Soc., 54, 282 (1971).
58. A. Auskern and W. Horn, "Fracture Energy and Strength of Polymer Impregnated Cement", Cement and Concrete Research, 4, 785-795 (1974).
59. Y. N. Liu, J. A. Manson, W. F. Chen, and J. W. Vanderhoff, "Polymer Impregnated Mortar II. Effect of Polymer State on Salt Permeation", submitted, 1977.
60. G. Frohnsdorff, paper presented, Symposium on New Materials of Construction, American Chemical Society, Annual Meeting, Philadelphia, May, 1975.
61. Y. N. Liu, J. A. Manson, W. F. Chen, and J. W. Vanderhoff, "Polymer Impregnated Mortar III. Effect of Polymer State on Fracture Toughness", submitted, 1977.
62. B. Ost and G. E. Monfore, "Penetration of Chloride into Concrete", J. PCA Res. Dev. Lab., 8, 46 (1966).

63. A. Conde and J. A. Manson, unpublished, Lehigh University, 1973.
64. E. Hammond and T. D. Robson, "Comparison of Electrical Properties of Various Cements and Concretes", The Engineer, January 28, 1955, p.115.
65. RILEM, "Fiber Reinforced Cement and Composites", Proceedings RILEM Symposium, September, 1975.
66. J. C. Aleszka and P. W. R. Beaumont, "The Work of Fracture of Concrete and Polymer Impregnated Concrete Composites", ref. 3, paper 6.3.
67. F. Flajsman, D. S. Kahn, and J. C. Phillips, "Polymer Impregnated Fiber-Reinforced Mortars", J. Amer. Ceram. Soc., 54, 129 (1971).
68. C. Zener, et al., "Solar Sea Power", Carnegie-Mellon University Progress Report NSF/RANN/SE/GI-394114/PR/74/2, Jan. 1974; NTIS No. PB-228-068.
69. J. G. McGowan, W. E. Heroneumus, J. W. Connell, and P. D. Cloutier, "Ocean Thermal Difference Power-Plant Design", J. Eng. Ind., Trans., ASME, paper No. 73-WA/OCT-5, 1974.
70. J. A. Manson and L. H. Sperling, Chapter 12, "Polymer Blends and Composites", Plenum, New York, 1976.

CURRICULUM VITAE

Obtuvo su Ph.D., en Física y Química en la Universidad de McMaster; Postdoctorado en Ingeniería Química y Metalúrgica en la Universidad de Michigan. Ha publicado diversos trabajos de investigación sobre polímeros, mezclas de polímeros, fallas por fatiga, etc. Ha sido director de diversos simposios y cursos sobre estos temas en diversas sociedades en los Estados Unidos. El Dr. Manson es profesor de Química y director del Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigación sobre Materiales en la Universidad Lehigh, miembro del Instituto de Fractura y de Mecánica de Sólidos, director del Comité del Programa de Polímeros en la Universidad de Lehigh. Es miembro del ACI de la National Academy of Science y del New York Academy of Science.