

Performance of Special Boundary Elements Reinforced with Continuously Wound Ties

by Malory R. Gooding, Elizabeth A. Mosier, Sushil Kunwar, and Bahram M. Shahrooz

Conventional steel reinforcing ties have provided effective passive confinement to enhance concrete strength and ductility. Several initiatives are underway to reduce material waste and speed the construction process, one of which is to use continuously wound ties (CWTs) instead of conventional steel reinforcing ties in concrete compression members. CWTs can refer to two types of tie reinforcement: a helix made from a single piece of reinforcing bar (Fig. 1(a)) or a single hoop with multiple legs wound from a single piece of reinforcing bar (Fig. 1(b)). The former was presented previously by Shahrooz et al.¹ The research discussed in this article focuses on the latter.

CWTs are expected to improve tie anchorage and confinement of the concrete core and to enhance ductility of critical reinforced concrete compression members, particularly by enhancing inelastic seismic response of members subjected to high moment and axial loads. Such members are columns of special moment frames or special boundary elements (SBEs) of walls. Members reinforced with CWTs are expected to have enhanced performance because: 1) most legs do not rely on hooks for development; and 2) the tie is continuous rather than consisting of separate components. Using CWTs reduces construction costs and tie placement time in some situations; placement of cross-ties with seismic hooks is time consuming.

Due to the lack of experimental and/or field data on the performance of CWTs, the ACI 318-19 Code does not currently account for the potential benefits of CWTs.² As stipulated in Section 1.10.1 of ACI 318-19, designs that do not conform to the Code could be approved if the adequacy of such designs is demonstrated by “successful use or by analysis or tests.” As part of research conducted at the University of Cincinnati, Cincinnati, OH, USA, performance of SBEs

reinforced with CWTs was compared against those using conventional ties.

Overview of Research Program

Twenty 6 ft tall SBEs were fabricated and subjected to uniaxial, monotonically increasing axial compression to evaluate the performance of members reinforced with CWTs, among other objectives. The test specimens were reinforced with ASTM A706/A706M Grade 60 reinforcement and ASTM A706/A706M Grade 80 reinforcement. Both normal

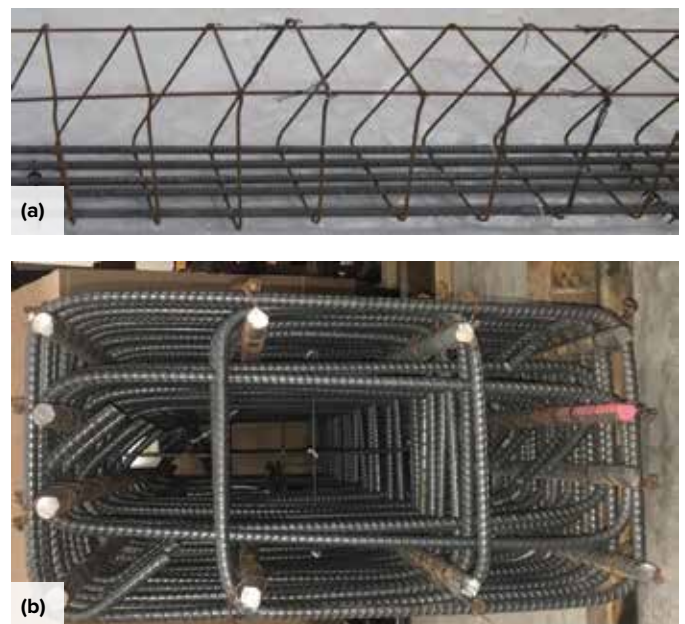


Fig. 1: Types of continuously wound ties transverse reinforcement: (a) helix; and (b) hoop with multiple legs

Table 1:
Test specimen details

Group No.	Specimen ID	<i>h</i> , in.	<i>b</i> , in.	ρ	Required tie spacing, in.	Min. $A_{st}/s b_c$	Tie volumetric ratio	<i>s/d_b</i>	Governing Code provision	Actual tie spacing, in.
1	CON-RT-Y-60-6-#5	24	12	0.019	3.64	0.009	0.026	5.8	18.10.6.4	3-5/8
	CWT-RT-Y-60-6-#5						0.030			
2	CON-RT-Y-60-10-#5	24	12	0.019	2.18	0.015	0.043	3.5	18.10.6.4	2-1/8
	CWT-RT-Y-60-10-#5						0.050			
3	CON-RT-Y-80-10-#5	24	12	0.019	2.91	0.012	0.033	4.7	18.10.6.4	2-7/8
	CWT-RT-Y-80-10-#5						0.038			
4	CON-SQ-Y-60-10-#5	12	12	0.031	3.27	0.015	0.028	5.2	18.10.6.4	3-1/4
	CWT-SQ-Y-60-10-#5						0.033			
5	CON-SQ-Y-80-10-#5	12	12	0.031	3.13	0.016	0.029	5.0	18.10.6.5b	3-1/8
	CWT-SQ-Y-80-10-#5						0.034			
6	CON-RT-Y-60-10-#6	24	12	0.018	2.22	0.016	0.043	2.8	18.10.6.4	2-1/8
	CWT-RT-Y-60-10-#6						0.049			
7	CON-RT-Y-80-10-#6	24	12	0.018	2.96	0.012	0.032	3.8	18.10.6.4	2-7/8
	CWT-RT-Y-80-10-#6						0.037			

Note: *h* is depth; *b* is width; ρ is longitudinal reinforcement ratio; A_{st} is total cross-sectional area of transverse reinforcement; *s* is spacing of longitudinal reinforcement; *b_c* is cross-sectional dimension of member core measured to outside edges of transverse reinforcement composing area A_{st} ; *d_b* is diameter of longitudinal bars. Specimen ID notation: CON/CWT is conventional hoops/continuously wound ties; RT/SQ is rectangular/square; Y/N is meets Code/does not meet Code; 60/80 is Grade 60/Grade 80; 6/10 is concrete strength in ksi; #5/#6 is size of longitudinal bars

strength and high-strength concrete were used with design compressive strengths of 6 and 10 ksi, respectively. The research program was completed in two phases (10 specimens in each phase), with the results and observations from the first phase informing the selection of the test variables for the second phase specimens. This article focuses on 14 specimens in which the type of transverse reinforcement (conventional or CWT) was the only test variable. The details and cross sections of these seven groups of specimens are summarized in Table 1 and illustrated in Fig. 2. All the specimens had No. 4 transverse reinforcement. Additional information, including data reduction methodology, is available from Gooding³ and Gooding et al.⁴

Main Results and Observations

The conventional ties had four or nine seismic hooks, whereas CWTs required only two seismic hooks. As a result, the likelihood of hooks to straighten was greater in the specimens

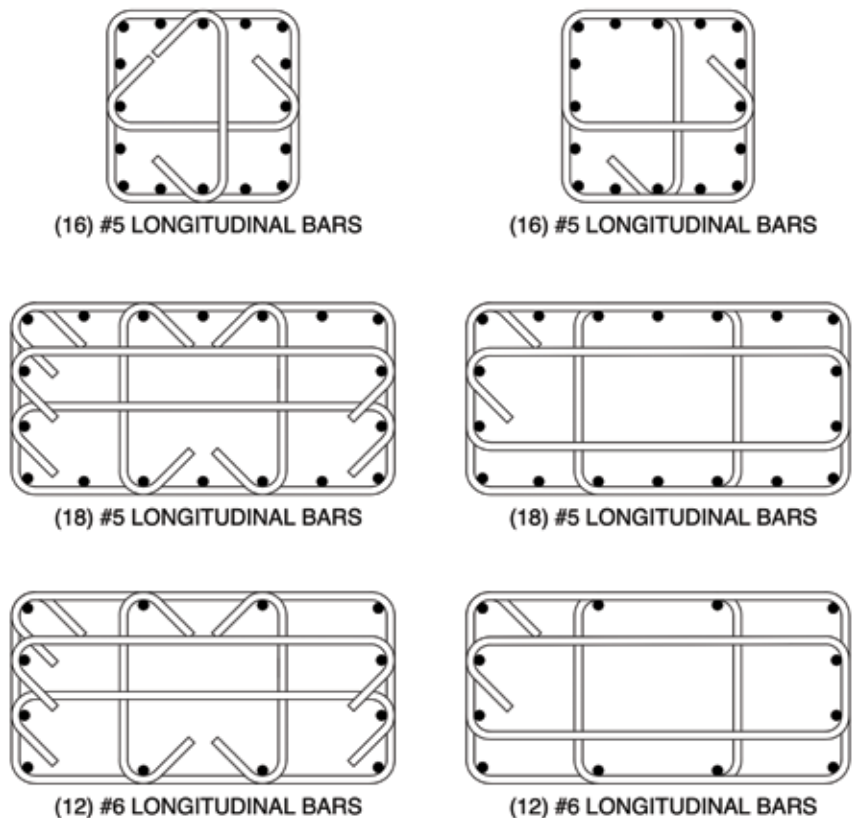


Fig. 2: Test specimen cross sections

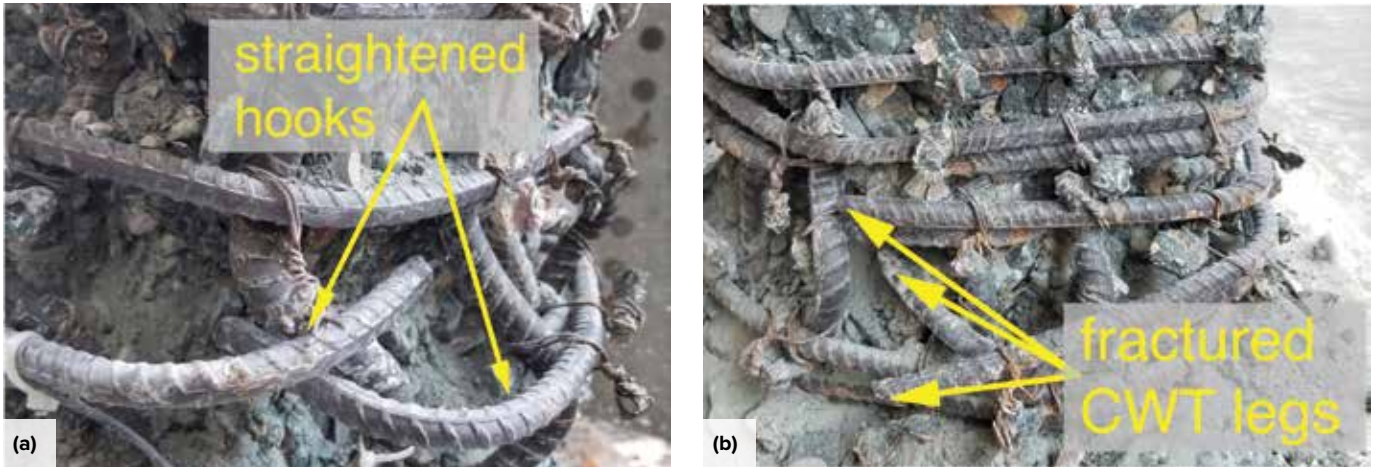


Fig. 3: Representative damage: (a) conventional (CON-SQ-Y-80-10-#5); and (b) CWT (CWT-SQ-Y-80-10-#5)

reinforced with conventional ties in comparison to those reinforced with CWTs. Figure 3 illustrates representative damages for the two types of transverse reinforcement. The corner seismic hooks for CON-SQ-Y-80-10-#5 (conventionally reinforced) straightened (Fig. 3(a)). In contrast, the corner seismic hooks CWT-SQ-Y-80-10-#5 (reinforced with CWTs) did not straighten (Fig. 3(b)). The ties were straightened in three conventional and one CWT reinforced specimens. Transverse reinforcement fractured in four specimens reinforced with CWTs (like the case shown in Fig. 3(b)) and fractured in one specimen reinforced with conventional ties. The strains in the conventional ties could not reach fracture strain before one or more longitudinal bars buckled and/or hooks were straightened, therefore, reducing the load that could be applied.

Three metrics were used to compare the performance of SBEs reinforced with conventional ties versus CWTs: 1) axial capacity; 2) confined concrete strength; and 3) ductility. For this purpose, the measured axial load capacity (P_{max}) was normalized with respect to computed nominal axial load capacity (P_0). The value of P_0 (lb) was determined using the measured material properties and dimensions from $P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$, where f'_c is the measured concrete compressive strength from cylinder tests (psi); A_g is the gross cross-sectional area (in.²); A_{st} is the total area of longitudinal reinforcement (in.²); and f_y is the measured yield strength of longitudinal reinforcement (psi). To assess post-peak ductility, the values of ϵ_{85} were compared. As shown in Fig. 4, this strain corresponds to when the axial stress drops to $0.85 f'_{cc}$ post peak, where f'_{cc} is the peak confined concrete strength.

From Fig. 5, it is evident that the specimens reinforced with conventional ties and CWTs had nearly identical axial load capacities. On average, the value of P_{max}/P_0 was 1.13 for specimens reinforced with conventional ties and 1.14 for specimens reinforced with CWTs, with the corresponding coefficient of variation of 0.064 and 0.055, respectively. With 95% confidence, the mean value of P_{max}/P_0 was between 1.08 and 1.18 for specimens reinforced with conventional ties and

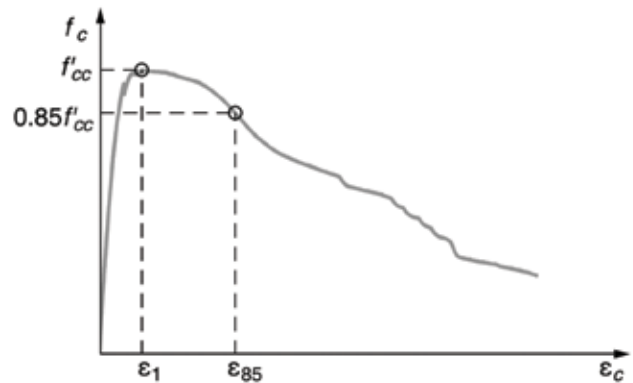


Fig. 4: Definition of ϵ_{85}

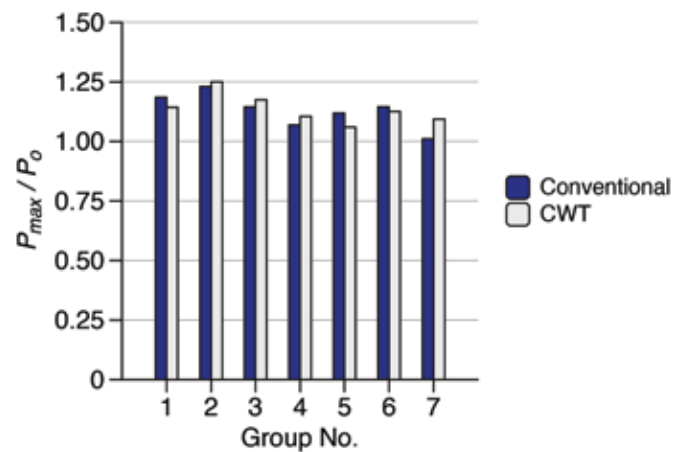


Fig. 5: Comparison of normalized axial load capacity

between 1.09 and 1.18 for those using CWTs.

A similar trend is also observed from Fig. 6 in which confined concrete strength normalized with respect to cylinder strength compressive strength (f'_{cc}/f'_c) is illustrated. The average value of f'_{cc}/f'_c was 1.22 for specimens reinforced with conventional ties with a coefficient of variation of 0.051 and 1.19 for specimens reinforced with CWTs with a coefficient of variation of 0.057. The 95% confidence interval

range was 1.18 to 1.27 and 1.14 to 1.24 for specimens reinforced with conventional ties and CWTs, respectively.

The most noticeable difference between the two types of transverse reinforcement was post-peak ductility as quantified by ϵ_{85} . For all groups, the value of ϵ_{85} was larger for specimens reinforced with CWTs (refer to Fig. 7). On average, the use of

CWTs improved post-peak ductility by 74% (average ϵ_{85} was 0.007 for conventional ties versus 0.0122 for CWTs). With 95% confidence, the mean value of ϵ_{85} was between 0.005 and 0.009 for specimens reinforced with conventional ties in comparison to 0.011 and 0.014 for specimens reinforced with CWTs.

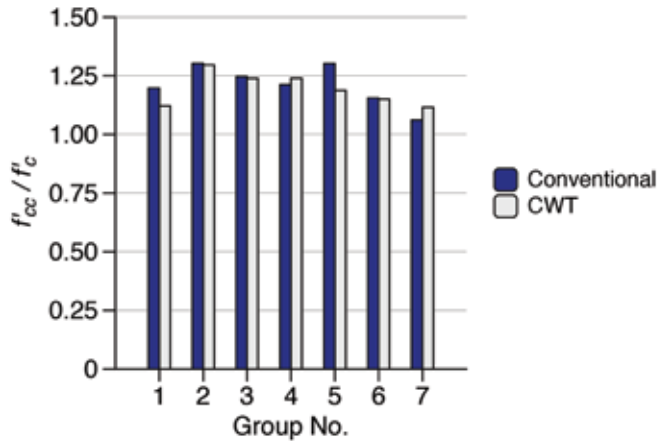


Fig. 6: Comparison of normalized confined concrete strength

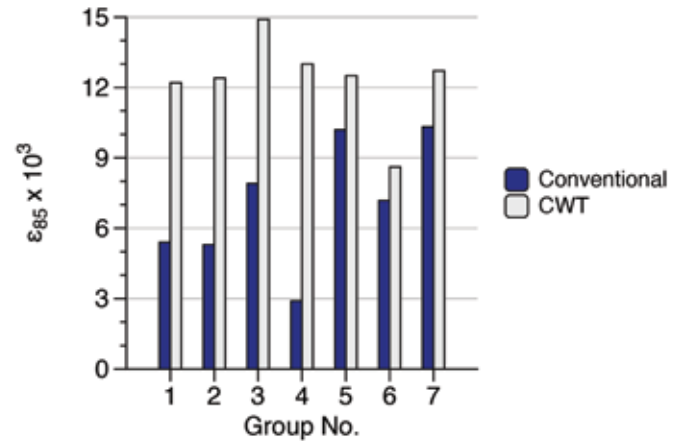


Fig. 7: Comparison of post-peak ductility using ϵ_{85}

Concrete Repair Code Requirements and Project Examples

ACI CODE-562-21 is the first code specifically for repairing reinforced concrete. The companion publication, “Guide to the Code for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures,” includes chapter guides and project examples.



Looking for more on ACI CODE-562-21? ACI has produced a series of on-demand courses that review the process behind the ACI 562 repair code and showcase several project examples.

Visit www.concrete.org/ACI562



American Concrete Institute
Always advancing



Summary and Conclusions

Advancements in steel reinforcement bending machines have allowed the fabrication of continuously wound ties (CWTs), which are constructed from a single piece of reinforcement. CWTs are being used in place of conventional transverse reinforcement in concrete compression members to reduce waste and speed the construction process. To assess the influence of using CWTs in comparison to conventional ties, 20 large-scale special boundary element specimens were designed, constructed, and tested under monotonically increasing axial compression. The following observations and conclusions were made:

- Fabrication of the specimens with CWTs was faster and easier than fabricating specimens with conventional transverse reinforcement comprising crossties with seismic hooks;
- The seismic hooks straightened in three specimens with conventional ties but only in one specimen with CWTs;
- Transverse reinforcement fractured in four specimens with CWTs but only in one specimen with conventional ties. This and the previous observation demonstrate that CWTs have superior engagement relative to conventional ties, resulting in larger strains in the transverse reinforcement; and
- While the axial load capacities were nearly identical in corresponding specimens with conventional ties and CWTs, the post-peak ductility, as quantified by the strain corresponding to 85% of peak compressive axial stress, was increased by an average of 74% when CWTs were employed.

Acknowledgments

The Charles Pankow Foundation, ACI Foundation, and CRSI Education and Research Foundation provided the funding for this project. The project was guided by the Industry Advisory Panel consisting of Jack Moehle from the University of California at Berkeley, Berkeley, CA, USA, Neal Anderson from SGH, and Reza Bayat from Englekirk. The Industry Champion for the project was Ron Klemencic, Chairman and CEO of MKA. Janell Concrete and Masonry Equipment, Dayton Superior, Contractors Materials Co. (CMC), Alamillo, Nucor (Harris Rebar), Commercial Materials Company (CMC), and Pacific Steel Group donated the materials used to fabricate the test specimens. The assistance of the laboratory staff at the Pacific Earthquake Engineering Research Center at the University of California at Berkeley was crucial to complete the testing program. Danis Construction facilitated and assisted with the fabrication of phase 1 specimens.

References

1. Shahrooz, B.M.; Forry, N.S.A.; Bill, H.L.; and Doellman, A.M., "Continuous Transverse Reinforcement—Behavior and Design Implications," *ACI Structural Journal*, V. 113, No. 5, Sept.-Oct. 2016, pp. 1085-1094.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
3. Gooding, M.R., "Normal and High-Strength Continuously Wound Ties," MSc Thesis, University of Cincinnati, 2020, 209 pp., http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1613747745225754.

ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1613747745225754.

4. Gooding, M.R.; Mosier E.A.; and Shahrooz, B.M., "Normal and High-Strength Continuously Wound Ties," Final Report, 2022, 83 pp., https://www.pankowfoundation.org/site/assets/files/2300/normal_and_high-strength_continuously_wound_ties_final_report.pdf.

Selected for reader interest by the editors.



Malory R. Gooding received her BS and MS in civil engineering from the University of Cincinnati, Cincinnati, OH, USA. Her graduate research is a part of the research reported in this article. Her research was based on work supported by the National Science Foundation Graduate Research Fellowship Program. She recently joined Julie Cromwell & Associates, LLC, Cincinnati, OH, where she has been involved in the design of new and existing structures.



Elizabeth A. Mosier received her BS in architectural engineering and MS in civil engineering from the University of Cincinnati. Her graduate research is a part of the research reported in this article. She is a Project Engineer with San Engineering LLC in Denver, CO, USA.



Sushil Kunwar received his MS in civil engineering from the University of Cincinnati, where he is currently a doctoral candidate. His research interest involves wind performance of composite coupled core walls in low seismic regions.



Bahram M. Shahrooz, FACI, is a Professor of structural engineering at the University of Cincinnati. He is a member of several ACI, AISC, and ASCE technical committees. His research and teaching interests involve prestressed concrete bridges, seismic behavior and design of steel-concrete hybrid structures, use of high-strength reinforcement in bridges, development of innovative structural members and systems, repair and strengthening of existing structures with the use of conventional and advanced composite materials, and short-term and long-term performance of highway infrastructure with fiber-reinforced polymer composites. He is a licensed professional engineer in Ohio.

04

Desempeño de Elementos de Borde Especiales Reforzados con Estribos con Dobleces Continuo

Por Malory R. Gooding, Elizabeth A. Mosier, Sushil Kunwar y Bahram M. Shahrooz

Los estribos de acero de refuerzo convencionales han proporcionado un confinamiento pasivo efectivo para mejorar la resistencia y ductilidad del concreto. Actualmente, hay varias iniciativas en marcha para reducir el desperdicio de materiales y acelerar el proceso de construcción, una de las cuales es usar estribos con amarre/dobleces continuo (CWTs, por sus siglas en inglés) en lugar de los estribos de acero de refuerzo convencionales en los elementos de compresión de concreto. Los CWTs pueden referirse a dos tipos de estribos de refuerzo: una espiral hecha de una sola pieza de barra de refuerzo (Fig. 1 (a)) o un aro único con múltiples patas enrolladas a partir de una sola pieza de barra de refuerzo (Fig. 1 (b)). El primero fue presentado previamente por Shahrooz et al.¹ La investigación discutida en este artículo se enfoca en el segundo tipo.

Se espera que los CWTs mejoren el anclaje de los estribos y el confinamiento del núcleo de concreto, así como la ductilidad de los elementos críticos de compresión de concreto reforzado, especialmente mejorando la respuesta sísmica inelástica de los elementos sometidos a altos momentos y cargas axiales. Dichos elementos son columnas de pórticos especiales a momento o elementos de borde especiales (SBEs, por sus siglas en inglés) de muros. Se espera que los miembros reforzados con CWTs tengan mejor desempeño debido a que: 1) la mayoría de las patas no dependen de ganchos para su desarrollo; y 2) el estribo es continuo en lugar de estar compuesto por componentes separados. El uso de CWTs reduce los costos de construcción y el tiempo de colocación de los estribos en algunas situaciones; la colocación de estribos cruzados con ganchos sísmicos consume mucho tiempo.

Debido a la falta de datos experimentales y/o de campo sobre el desempeño de los CWTs, el Código ACI 318-19 actualmente no contempla los posibles beneficios de los CWTs.² Según lo estipulado en la Sección 1.10.1 del ACI 318-19, los diseños que no se ajusten al Código podrían ser aprobados si se demuestra la capacidad de dichos diseños mediante “uso exitoso o por análisis o ensayos”. Como parte de una investigación realizada en la Universidad de Cincinnati, Cincinnati, OH, EE.UU., se comparó el desempeño de los SBEs reforzados con CWTs con aquellos que utilizan estribos convencionales.

Resumen del Programa de Investigación

Veinte SBEs de 6 pies de altura fueron fabricados y sometidos a compresión uniaxial, aumentando monótonamente, para evaluar el desempeño de los miembros reforzados con CWTs, entre otros objetivos. Las muestras de prueba estaban reforzadas con acero de refuerzo ASTM A706/A706M Grado 60 y ASTM A706/A706M Grado 80. Se utilizó concreto de resistencia normal y alta con resistencias a compresión de diseño de 6 y 10 ksi, respectivamente. El programa de investigación se completó en dos fases (10 muestras en cada fase), siendo los resultados y observaciones de la primera fase la base para la selección de las variables de prueba en las muestras de la segunda fase. Este artículo se centra en 14 muestras en las cuales el tipo de refuerzo transversal (convencional o CWT) fue la única variable de prueba. Los detalles y secciones transversales de estos siete grupos de muestras se resumen en la Tabla 1 y se ilustran en la Figura 2.

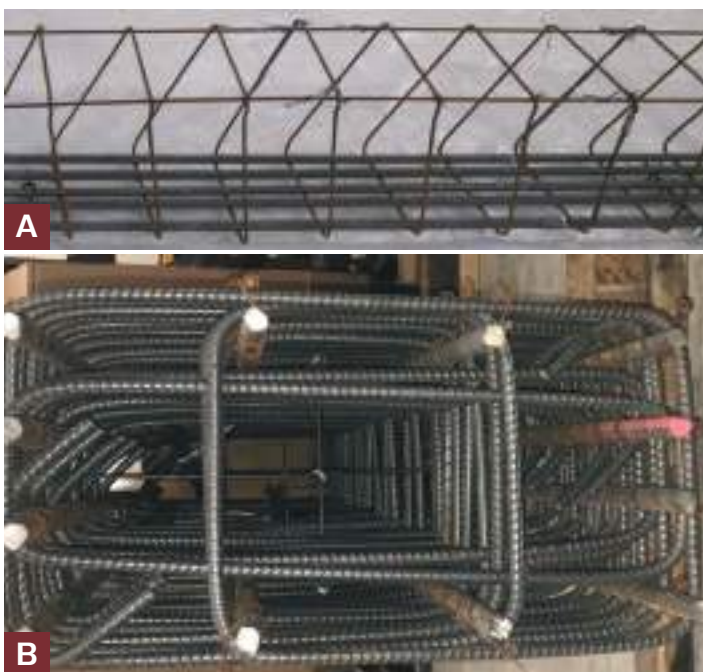


Fig. 1: Tipos de refuerzo transversal con estribos con amarre/dobleces continuo: (a) espiral; y (b) aro con múltiples patas.

Todas las muestras tenían refuerzo transversal No. 4. Información adicional, incluyendo la metodología de reducción de datos, está disponible en Gooding³ y Gooding et al.⁴

Principales Resultados y Observaciones

Los estribos convencionales tenían cuatro o nueve ganchos sísmicos, mientras que los CWTs sólo requirieron dos ganchos sísmicos. Como resultado, la probabilidad de que los ganchos se enderezasen fue mayor en las muestras reforzadas con estribos convencionales en comparación con aquellas reforzadas con CWTs. La Figura 3 ilustra los daños representativos para los dos tipos de refuerzo transversal. Los ganchos sísmicos de esquina para CON-SQ-Y-80-10-#5 (reforzado convencionalmente) se enderezaron (Fig. 3 (a)). En contraste, los ganchos sísmicos de esquina de CWT-SQ-Y-80-10-#5 (reforzado con CWTs) no se enderezaron (Fig. 3 (b)). Los estribos se enderezaron en tres muestras reforzadas convencionalmente y en una reforzada con CWTs. El refuerzo transversal se fracturó en cuatro muestras reforzadas con CWTs (como el caso mostrado en la Fig. 3 (b)) y se fracturó en una muestra reforzada con estribos convencionales. Las deformaciones en los estribos convencionales no alcanzaron la deformación de fractura antes de que una o más barras longitudinales se pandearan y/o se enderezaran los ganchos, reduciendo así la carga que podía aplicarse.

Se utilizaron tres métricas para comparar el desempeño de los SBEs reforzados con estribos convencionales versus CWTs: 1) capacidad axial; 2) resistencia del concreto confinado; y 3) ductilidad. Para este fin, la capacidad de carga axial medida (P_{max}) se normalizó con respecto a la capacidad nominal de carga axial calculada (P_o). El valor de P_o (lb) se determinó utilizando las propiedades materiales

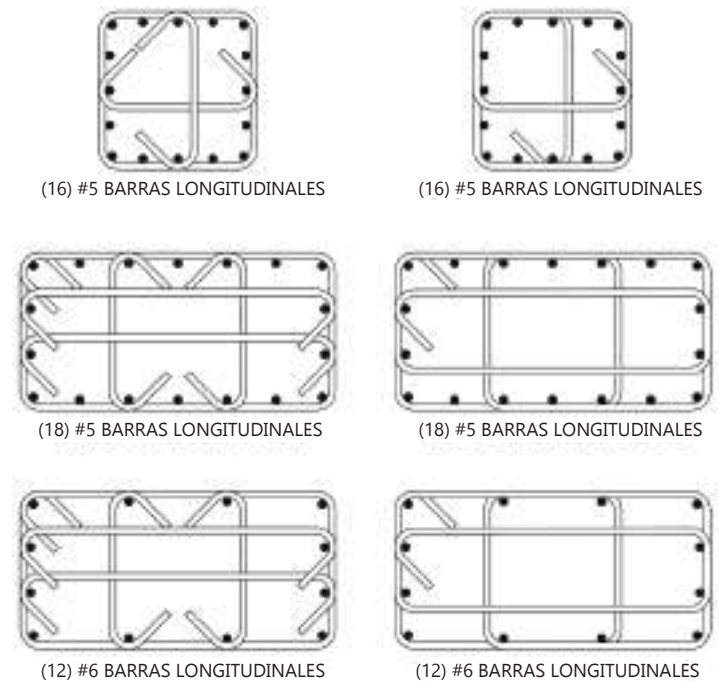


Fig. 2: Secciones transversales de las muestras de prueba.

Tabla 1:
Detalles de las muestras de prueba

Grupo No.	Identificación de la muestra	h , pulg.	b , pulg.	ρ	Espaciamiento requerido de estribos, pulg.	Min. $A_{st}/s b_c$	Relación volumétrica de estribos	s/d_b	Disposición del código aplicable	Espaciamiento actual de estribos, pulg.
1	CON-RT-Y-60-6-#5	24	12	0.019	3.64	0.009	0.026	5.8	18.10.6.4	3-5/8
	CWT-RT-Y-60-6-#5						0.030			
2	CON-RT-Y-60-10-#5	24	12	0.019	2.18	0.015	0.043	3.5	18.10.6.4	2-1/8
	CWT-RT-Y-60-10-#5						0.050			
3	CON-RT-Y-80-10-#5	24	12	0.019	2.91	0.012	0.033	4.7	18.10.6.4	2-7/8
	CWT-RT-Y-80-10-#5						0.038			
4	CON-SQ-Y-60-10-#5	12	12	0.031	3.27	0.015	0.028	5.2	18.10.6.4	3-1/4
	CWT-SQ-Y-60-10-#5						0.033			
5	CON-SQ-Y-80-10-#5	12	12	0.031	3.13	0.016	0.029	5.0	18.10.6.5b	3-1/8
	CWT-SQ-Y-80-10-#5						0.034			
6	CON-RT-Y-60-10-#6	24	12	0.018	2.22	0.016	0.043	2.8	18.10.6.4	2-1/8
	CWT-RT-Y-60-10-#6						0.049			
7	CON-RT-Y-80-10-#6	24	12	0.018	2.96	0.012	0.032	3.8	18.10.6.4	2-7/8
	CWT-RT-Y-80-10-#6						0.037			

Nota: h es el peralte; b es el ancho; ρ es la cuantía de refuerzo longitudinal; A_{st} es el área total de la sección transversal del refuerzo transversal; s es el espaciamiento del refuerzo longitudinal; b_c es la dimensión transversal del núcleo del miembro medida hasta los bordes exteriores del refuerzo transversal que compone el área A_{st} ; d_b es el diámetro de las barras longitudinales. Nomenclatura de la identificación de la muestra: CON/CWT es estribos convencionales/estribos con amarre/doblez continuo; RT/SQ es rectangular/cuadrado; Y/N es cumple con el Código/no cumple con el Código; 60/80 es Grado 60/Grado 80; 6/10 es resistencia del concreto en ksi; #5/#6 es el tamaño de las barras longitudinales.

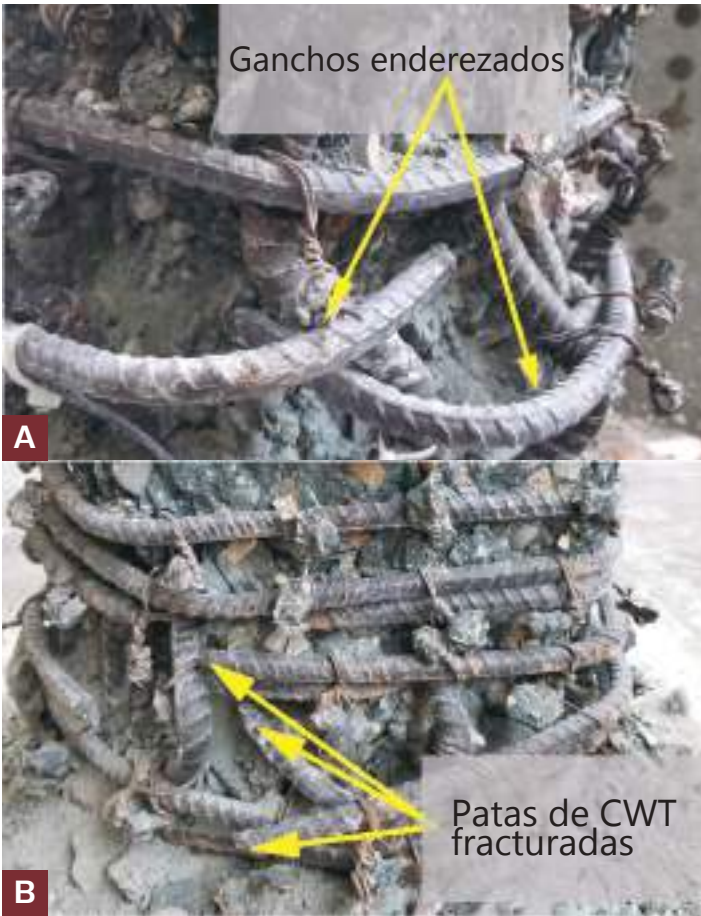


Fig. 3: Daño representativo: (a) convencional (CON-SQ-Y-80-10-#5); y (b) CWT (CWT-SQ-Y-80-10-#5).

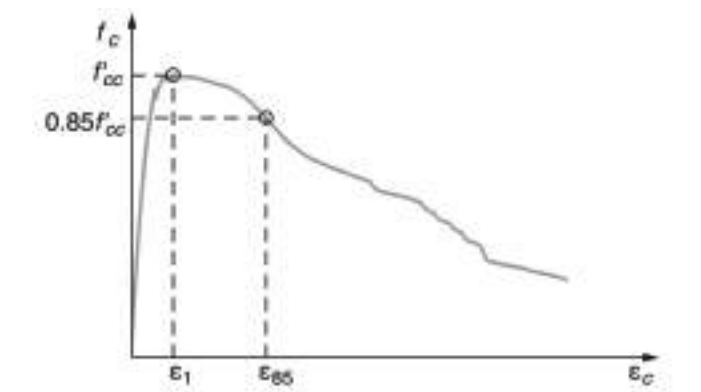


Fig. 4: Definición de ϵ_{85} .

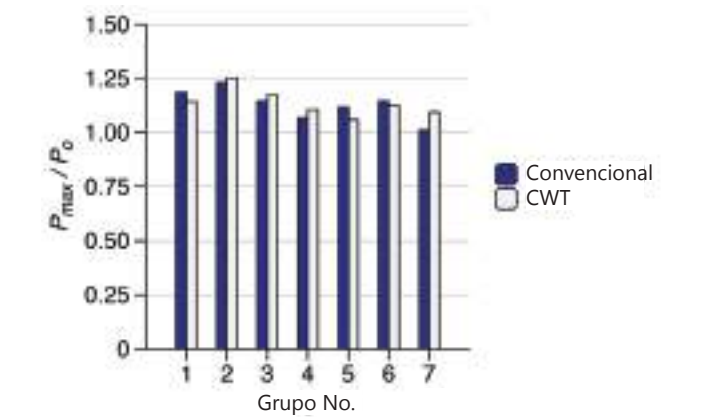


Fig. 5: Comparación de la capacidad de carga axial normalizada.

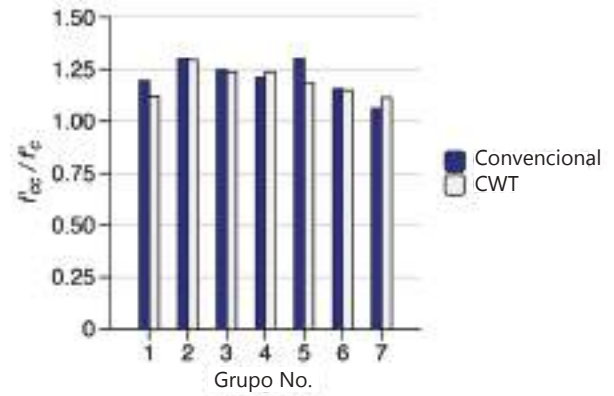


Fig. 6: Comparación de la resistencia normalizada del concreto confinado.

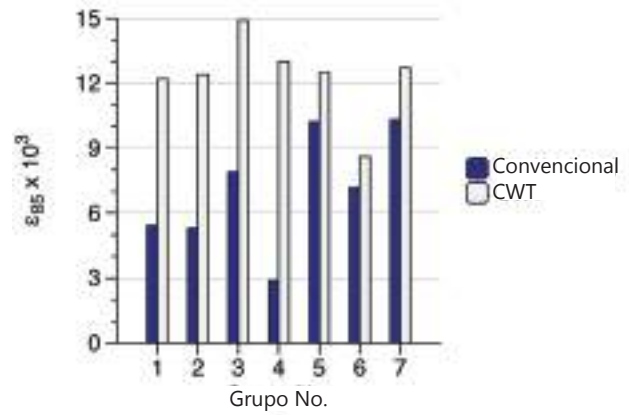


Fig. 7: Comparación de la ductilidad post-pico utilizando ϵ_{85} .

medidas y las dimensiones según $P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$, donde f'_c es la resistencia a la compresión del concreto a partir de pruebas de cilindros (psi); A_g es el área bruta de la sección transversal (pulg.²); A_{st} es el área total del refuerzo longitudinal (pulg.²); y f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo longitudinal medida (psi). Para evaluar la ductilidad post-pico, se compararon los valores de ϵ_{85} . Como se muestra en la Figura 4, esta deformación corresponde al punto en el cual el esfuerzo axial cae a $0.85 f'_{cc}$ después del pico, donde f'_{cc} es la máxima resistencia del concreto confinado.

Según la Fig. 5, es evidente que las muestras reforzadas con estribos convencionales y CWTs tuvieron capacidades de carga axial casi idénticas. En promedio, el valor de P_{max}/P_0 fue de 1.13 para las muestras reforzadas con estribos convencionales y de 1.14 para las muestras reforzadas con CWTs, con un coeficiente de variación correspondiente de 0.064 y 0.055, respectivamente. Con un 95% de confianza, el valor medio de P_{max}/P_0 estuvo entre 1.08 y 1.18 para las muestras reforzadas con estribos convencionales y entre 1.09 y 1.18 para aquellas reforzadas con CWTs.

También se observa una tendencia similar en la Fig. 6, donde se ilustra la resistencia a la compresión del concreto confinado normalizada respecto a la resistencia a la compresión de cilindros (f'_{cc}/f'_c). El valor promedio de f'_{cc}/f'_c fue de 1.22 para las muestras reforzadas con estribos convencionales, con un coeficiente de variación de 0.051, y de 1.19 para las muestras reforzadas con CWTs, con un coeficiente de variación de 0.057. El rango del intervalo de confianza del 95% fue de 1.18 a 1.27 para las muestras reforzadas con estribos convencionales y de 1.14 a 1.24 para las muestras reforzadas con CWTs.

La diferencia más notable entre los dos tipos de refuerzo transversal fue la ductilidad post-pico, cuantificada por ϵ_{85} . Para todos los grupos, el valor de ϵ_{85} fue mayor en las muestras reforzadas con CWTs (consulte la Fig.7). En promedio, el uso de CWTs mejoró la ductilidad post-pico en un 74% (ϵ_{85} promedio fue de 0.007 para estribos convencionales versus 0.0122 para CWTs). Con un 95% de confianza, el valor medio de ϵ_{85} estuvo entre 0.005 y 0.009 para las muestras reforzadas con estribos convencionales, en comparación con 0.011 y 0.014 para las muestras reforzadas con CWTs.

Resumen y Conclusiones

Los avances en las máquinas dobladoras de acero de refuerzo han permitido la fabricación de estribos con amarre/doblez continuo (CWTs), las cuales se construyen a partir de una única pieza de acero. Los CWTs están siendo utilizados en lugar del refuerzo transversal convencional en elementos de compresión de concreto para reducir desperdicios y acelerar el proceso de construcción. Para evaluar la influencia del uso de CWTs en comparación con los estribos convencionales, 20 muestras a gran escala de elementos de borde especiales fueron diseñadas, construidas y ensayadas bajo compresión axial creciente de manera monótona. A continuación, se presentan las observaciones y conclusiones alcanzadas:

- La fabricación de las muestras con CWTs fue más rápida y sencilla en comparación con la fabricación de muestras con refuerzo transversal convencional que incluye estribos con ganchos sísmicos;
- Los ganchos sísmicos se enderezaron en tres muestras con estribos convencionales, pero sólo en una muestra con CWTs;
- El refuerzo transversal se fracturó en cuatro muestras con CWTs, pero sólo en una muestra con estribos convencionales. Esta y la observación anterior demuestran que los

CWTs tienen un mejor comportamiento en comparación con los estribos convencionales, lo que resulta en mayores deformaciones en el refuerzo transversal; y

- Aunque las capacidades de carga axial fueron casi idénticas en las muestras correspondientes con estribos convencionales y con CWTs, la ductilidad post-pico, medida por la deformación correspondiente al 85% del esfuerzo en compresión axial máximo, aumentó en promedio un 74% cuando se emplearon CWTs.

Reconocimientos

La Fundación Charles Pankow, la Fundación ACI y la Fundación de Educación e Investigación CRSI proporcionaron el financiamiento para este proyecto. El proyecto fue guiado por el Panel Asesor de la Industria, compuesto por Jack Moehle de la Universidad de California en Berkeley, Berkeley, CA, EE.UU., Neal Anderson de SGH, y Reza Bayat de Englekirk. El Campeón de la Industria para el proyecto fue Ron Klemencic, Presidente y CEO de MKA. Janell Concrete and Masonry Equipment, Dayton Superior, Contractors Materials Co. (CMC), Alamillo, Nucor (Harris Rebar), Commercial Materials Company (CMC) y Pacific Steel Group donaron los materiales utilizados para fabricar las muestras de prueba. La asistencia del personal de laboratorio del Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica del Pacífico en la Universidad de California en Berkeley fue crucial para completar el programa de pruebas. Danis Construction facilitó y ayudó con la fabricación de las muestras de la fase 1.

Referencias

1. Shahrooz, B.M.; Forry, N.S.A.; Bill, H.L.; and Doellman, A.M., "Continuous Transverse Reinforcement—Behavior and Design Implications", ACI Structural Journal, V. 113, No. 5, Sept.-Oct. 2016, pp. 1085-1094.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2019, 624 pp.
3. Gooding, M.R., "Normal and High-Strength Continuously Wound Ties", MSc Thesis, University of Cincinnati, 2020, 209 pp., http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1613747745225754.
4. Gooding, M.R.; Mosier E.A.; and Shahrooz, B.M., "Normal and High-Strength Continuously Wound Ties", Final Report, 2022, 83 pp., https://www.pankowfoundation.org/site/assets/files/2300/normal_and_high_strength_continuously_wound_ties_final_report.pdf.

Malory R. Gooding obtuvo su licenciatura y maestría en ingeniería civil de la Universidad de Cincinnati, en Cincinnati, OH, EE.UU. Su investigación de posgrado forma parte del trabajo reportado en este artículo. Su investigación fue respaldada por el Programa de Becas de Investigación de Posgrado de la National Science Foundation. Recientemente se unió a Julie Cromwell & Associates, LLC, en Cincinnati, OH, donde ha estado involucrada en el diseño de estructuras nuevas y existentes.



Elizabeth A. Mosier obtuvo su licenciatura en ingeniería arquitectónica y su maestría en ingeniería civil de la Universidad de Cincinnati. Su investigación de posgrado forma parte del trabajo reportado en este artículo. Actualmente es Ingeniera de Proyectos en San Engineering LLC en Denver, CO, EE.UU.



Sushil Kunwar obtuvo su maestría en ingeniería civil de la Universidad de Cincinnati, donde actualmente es candidato a doctorado. Su interés de investigación se centra en el desempeño frente al viento de núcleos de muros acoplados compuestos en regiones sísmicas de baja intensidad.



Bahram M. Shahrooz, FACI, es profesor de ingeniería estructural en la Universidad de Cincinnati. Es miembro de varios comités técnicos de ACI, AISC y ASCE. Sus intereses de investigación y enseñanza incluyen puentes de hormigón preesforzado, comportamiento sísmico y diseño de estructuras híbridas de acero-hormigón, uso de refuerzo de alta resistencia en puentes, desarrollo de miembros y sistemas estructurales innovadores, reparación y refuerzo de estructuras existentes con materiales compuestos convencionales y avanzados, y rendimiento a corto y largo plazo de la infraestructura vial con compuestos de polímero reforzado con fibra. Es ingeniero profesional con licencia en Ohio.



Título original en inglés:
Performance of Special Boundary
Elements Reinforced with
Continuously Wound Ties

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
República Dominicana**



Traductora:
Ing. Olga Font



Revisor Técnico:
Ing. Piero Caputo