

Riverworks at Eastern Wharf Fire Repair

A case study in Savannah, GA, USA

by Robert M. Weilacher, Jim Newsome, and George H. Harrison

Extending Savannah's River Street scene east along the river, Riverworks at Eastern Wharf serves as the centerpiece of a 54 acre (22 ha) mixed-use development with concrete at its core. It consists of a six-story precast concrete parking structure wrapped by two levels of cast-in-place concrete parking and podium slabs for wood-framed apartments. Metromont was responsible for the precast parking structure design. Davis & Church designed the wood-framed apartments, and Uzun+Case, LLC, designed the cast-in-place concrete parking and podium structure as well as all of the foundations.

With a riverside site, poor soil conditions were a given, so the design team used over 1400 auger cast piles (all of which required some chipping to get the correct elevation), a web of integrated pile caps and grade beams, and a structured slab-on-ground to provide the foundation. The cast-in-place deck was assigned Seismic Design Category (SDC) C, while the precast parking deck was assigned SDC D. Complicating construction of the foundations was ever-present groundwater at the deepest pile caps and pits; the need for sloping grade beams, as the slab-on-ground spanned between columns and also served as the lowest level of parking; and detailed waterproofing/vapor barrier requirements that necessitated precise construction sequencing.

The site, with its poor soil conditions and relatively close proximity to Charleston, SC, USA, yielded significant seismic loads and design criteria. Being coastal, it also had higher wind conditions.

To maintain critical dates for the owner, both the precast and cast-in-place structures were built concurrently. This sequencing allowed the precast erection to begin on the south while the cast-in-place structure was ongoing on the north, and with the two activities eventually switching sides. At topping out, the cast-in-place concrete structure involved over 22,000 yd³ (16,820 m³) of ready mixed concrete, 1500 tons (1360 tonnes) of reinforcing steel bars, and 300,000 lb (136,080 kg) of post-tensioning (PT) cables.

Expansion joints separate the precast structure from the

cast-in-place structure. The cast-in-place structure is divided into north and south sections by a second expansion joint.

Challenges During Construction

During construction, a large gas main to nearby Hutchinson Island was struck by construction equipment 60 ft (18 m) under the surface. This resulted in a substantial explosion, so testing and analysis of surrounding piles was conducted to make sure they were not damaged. Of course, the pipe had to be repaired as well. Unfortunately, this was the lesser of the events the design and construction team had to overcome.

Further into the project, a single incident nearly derailed the entire project. On February 27, 2020, a small fire grew into massive blaze, quickly engulfing the completed south wood-framed apartments and destroying months of work completed by all trades. The incident briefly cast the future of the project in doubt, but a fire recovery effort was implemented to save the project.

Investigation of Structural Conditions After the Fire

Uzun+Case visited the structure right after the fire and several times during the cleanup of the podium level, which was covered in burnt wood framing from the apartments (Fig. 1 and 2). Careful guidance was provided on what equipment could be used on the potentially damaged podium level. Fortunately, the post-tensioned parking levels below the podium were not damaged.

SGS TEC Services was then hired and walked the podium deck with the structural engineer, contractor, and city officials. Surface damage was very apparent in the form of spalled concrete, exposed reinforcing bars, and damaged PT cables (Fig. 3). The podium slab occupied an area of about 45,000 ft² (4180 m²), and there were large visible areas of damage (significant deep spalling) primarily concentrated toward the center of the slab. Other slab areas, mostly toward the edges of the slab, had little or no damage. To quantify the areas of damage to be repaired, a combination of surface delamination

sounding (using a chain drag) and core sampling was selected as the best course of action.

Preparation for Repair

Choate Construction removed all wood framing debris and construction materials from the affected areas of the podium structure surface. Once this was done, SGS TEC Services and Uzun+Case documented spalled concrete, exposed reinforcement, damaged PT cables, and areas of likely damage for further invasive investigation.

SGS TEC Services performed a chain drag survey per ASTM D4580/D4580M, “Standard Practice for Measuring Delaminations in Concrete Bridge Decks by Sounding.” The survey covered the entire slab surface to identify delaminated concrete that was not visually noticeable. Due to the size of the slab area and number of damaged areas, a total of 38 representative core areas were identified to be sampled. Prior to coring, each area to be sampled was surveyed with ground-penetrating radar (GPR) to identify both steel reinforcement and PT cables. The cores were obtained in accordance with ASTM C42/C42M, “Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete,” with 4 in. (102 mm) cores removed in the center of the visually obvious heat damage areas, along with cores at the periphery of damaged areas. Additional cores were also taken in what appeared to be undamaged areas to verify the limits of the impact of the heat damage on the slab. Each coring area was chosen to be the most representative of the slab condition in that location.

A limited petrographic analysis (per ASTM C856/C856M, “Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete”) was performed on each core sample to establish the depth of possible heat damage in each area on the podium slab. Each core sample was cut in half and polished. After all the core samples had been prepared, each sample was microscopically examined to determine the depth of possible heat damage in the paste and aggregate in that corresponding area. This information was later used to specify the proper repairs for the slab and aided in quantifying the amount of repair needed.

The results of this effort were written into a report, and it was determined that although badly beaten, the concrete structure had “survived” the intense heat. The challenge from that point on was to begin making repairs and get the project back on track as soon as possible. Uzun+Case benefitted from a quick turnaround and received the final report from SGS TEC Services within 2 weeks of the fieldwork. Using the information gathered during the survey, including depth of damage, condition of paste and aggregate, and recommendations for the depth of damaged material removal, Uzun+Case prescribed a repair procedure and schedule.

Meanwhile, Uzun+Case developed procedures and repair details with the help of Precision Concrete, Sika, and the PT supplier, DSI.

Metromont surveyed and repaired the precast parking



Fig. 1: Fire damage to the apartments at Riverworks at Eastern Wharf



Fig. 2: Another view of the fire damage to wood-framed apartments



Fig. 3: Surface damage (spalling) of the podium level due to fire

structure (damage can be seen on the right side of Fig. 2). That story is not covered in this article, but it is certainly a noteworthy effort.

Repair of the Podium Slab Concrete Structure

Once the wood-framing debris was cleared, Precision Concrete was engaged to do the repair work on the structure. They used GPR to mark locations and depth of PT tendons



Fig. 4: Location of PT cables were marked



Fig. 5: Work was done at night to avoid high temperatures



Fig. 6: Most areas required numerous scabbling passes to remove damaged concrete

and mild reinforcement in the slab areas that had been documented as requiring surface replacement (Fig. 4).

Most of the work was done at night due to the time of year and temperature in Savannah, where it can get quite hot (Fig. 5).

Based on the SGS TEC Services report, the slab areas were classified by approximate depth of delamination due to the fire damage. Areas were classified as Red (3 to 4 in. [76 to 102 mm] of removal), Orange (1 to 2 in. [25 to 51 mm] of removal), and Yellow (less than 1/2 in. [13 mm] of removal). The removal process started with handheld concrete breakers (bush hammers) to outline the perimeter of the repair area. Pneumatic walk-behind and handheld scabblers were used to remove the damaged material down to sound concrete. The scabbler would remove 1/8 to 1/4 in. (3 to 6 mm) per pass, so most areas required numerous passes (Fig. 6).

The SikaQuick-1000 patching material required a Concrete Surface Profile (CSP) 6, which is a medium scarification and a minimum depth of 1/4 in. The area was vacuumed and pressure washed to remove loose particles and dust. The reinforcing steel was pressure washed and wire brushed and then coated with Sika Armatec-110 EpoCem (corrosion inhibitor). The repair area was then primed with a scrub coat of SikaQuick-1000. Pre-bagged material was used for repairs up to 2 in. deep. For areas that were 2 to 4 in. deep, the pre-bagged material was extended with 3/8 in. (9.5 mm) pea gravel. All repair areas were wet-cured with burlap. The entire area was polished to assure a smooth repair and transition to the original slab. The scabblers were equipped with vacuum attachments and operators wore respirators to comply with OSHA silica standards. A Sika representative was present on site for much of these efforts. SikaFilm was used as a surface finishing agent and evaporation retarder.

The walls in the stairwells up to the podium suffered damage similar to the slabs but on a vertical plane. After cleaning the concrete walls, similar preparation work was carried out, including the use of Sika Armatec-110 EpoCem as a bonding agent for all exposed reinforcement and SikaRepair-223 for vertical patching material (Fig. 7). The steel pan stairs themselves were a complete wreck for at least the first lift going down and had to be refabricated and installed again.

PT Repair

There were also 24 PT cable repairs completed by DSI over the subsequent 2 months, with many unique circumstances requiring scanning, chipping, distressing, coupling, and restressing by concrete repair specialists from both DSI PT and Precision Concrete. In addition, there were numerous locations where PT cables placed high in the slab were exposed by delaminated concrete or they were close to delaminated concrete and required examination to verify there was no damage. All of these locations had to be repatched using the slab repair noted above after damaged tendon sheathing was repaired.

Many of the 24 cables had to be distressed if partially



Fig. 7: Vertical patching repair



Fig. 8: PT cables had to be spliced with chucks and damaged sheathing repaired

broken. Destressing was done by DSI using methods of cutting individual strands or by heating the anchorages to relieve stress slowly and safely. In either case, the slab was shored and work was accomplished by experienced personnel certified in PT repair.

The heating process started by careful chipping of the PT anchor to expose the strand and wedges. Next, the anchor was heated to let the wedges slip slowly to relieve the stress. Unstressed tendons were removed, and new tendons were threaded through the slab.

Using the cutting method, an exposed tendon at the point of damage had one strand at a time cut until the tendon was completely severed; then the tendons could be removed and new ones rethreaded.

After the tendons were destressed, the cables were spliced with chucks, damaged sheathing was repaired, and the slab was repaired again (Fig. 8). Finally, tendons needed to be restressed and elongations measured and approved.

After all repairs were made, Precision Concrete used concrete polishing equipment to smooth transitions at repaired slabs.

Summary

The costs of this project included 1.5 million USD for remediation of the parking structure and concrete repairs, 7 million USD for demolition and fire mitigation, and 6 million USD to rebuild the wood structure.

What was discovered at Riverworks at Eastern Wharf is a testament to concrete's inherent properties (strength, durability, and fire resistance), which make for a very strong and lasting structure that is hard to damage severely. Wood was a complete loss in this case, and a significant amount of miscellaneous steel suffered enough damage to have to be replaced.

Note: Additional information on the ASTM standards discussed in this article can be found at www.astm.org.

Selected for reader interest by the editors.



Technology, Atlanta, GA.

ACI member **Robert M. Weilacher** is a Principal with Uzun+Case, LLC, in Atlanta, GA, USA. He is a member of ACI Committee 130, Sustainability of Concrete. He is a Past President of the ACI Georgia Chapter and the Structural Engineers Association of Georgia. He received his BS and MS in civil engineering from the Georgia Institute of



BS in construction engineering and management from Purdue University, West Lafayette, IN, USA.

ACI member **Jim Newsome** is Vice President at Precision Concrete Construction, Inc., based in Alpharetta, GA. He has over 40 years of experience in the construction industry and has worked with Precision for over 20 years. He has served on the ACI Georgia Chapter Board of Directors for 6 years. Newsome received his



geology from Southampton College – Long Island University, Southampton, NY, USA.

ACI member **George H. Harrison** is Principal and Group Manager of Non-Destructive Testing at Contour Engineering, LLC, in Norcross, GA. He is a member of ACI Committees 302, Construction of Concrete Floors, and 332, Residential Concrete Work. He is also a Past President of the ACI Georgia Chapter. Harrison received his BS in

Riverworks en la reparación por incendio en Eastern Wharf

Un estudio de caso en Savannah, GA, EE. UU.

Por Robert M. Weilacher, Jim Newsome, y George H. Harrison.

Extendiendo la escena de calle River en Savannah hacia el este a lo largo del río, Riverworks en Eastern Wharf se erige como el punto central de un desarrollo mixto de 54 acres (22 ha) con el concreto como su elemento principal. Consiste en una estructura de estacionamiento de concreto prefabricado de seis pisos envuelta por un podio de dos niveles de estacionamiento con losas de concreto colado en sitio que apoyan apartamentos con estructura de madera. Metromont fue responsable del diseño de la estructura de estacionamiento prefabricada. Davis & Church diseñaron los apartamentos con estructura de madera, y Uzun+Case, LLC, diseñó la estructura del estacionamiento y las plataformas de concreto colado en sitio, así como todas las cimentaciones.

Dado que el sitio junto al río tenía condiciones de suelo deficientes, el equipo de diseño utilizó más de 1,400 pilotes de concreto perforados (los cuales requirieron algún trabajo de cincelado para alcanzar la elevación correcta), una red de cabezales y vigas de amarre, y una losa estructurada sobre el terreno para proporcionar la cimentación. La losa colada en sitio fue clasificada en la Categoría de Diseño Sísmico (SDC) C, mientras que la plataforma de estacionamiento prefabricada fue clasificada en la categoría SDC D. El agua subterránea siempre estuvo presente en los cabezales de los pilotes y los pozos más profundos, lo cual complicó la construcción de las cimentaciones; ya que la losa sobre el terreno se extendía entre columnas y también servía como superficie de estacionamiento, fueron necesarias vigas de cimentación; los requisitos de impermeabilización y de una barrera contra la humedad exigían una secuencia de construcción precisa.

El sitio, con sus deficientes condiciones de suelo y su relativa proximidad a Charleston, SC, EE. UU., obligó a considerar cargas sísmicas significativas y estrictos criterios de diseño. Al estar ubicado en la costa, también estaba sujeto a condiciones de viento más altas.

Para cumplir con las fechas críticas del propietario, las estructuras prefabricadas y las de concreto colado en sitio se construyeron simultáneamente. Esta secuencia permitió que el ensamblado de los elementos prefabricados comenzara en el lado sur, mientras que la estructura de concreto colado en sitio iniciaba en el lado norte, después las dos actividades se intercambiaron de lado. Al final, la estructura de concreto colado en sitio requirió más de 22,000 yardas cúbicas (16,820 metros cúbicos) de concreto premezclado, 1,500 toneladas (1,360 toneladas métricas) de barras de acero de refuerzo y 300,000 libras (136,080 kilogramos) de cables de post-tensado (PT).

Las juntas de expansión separan la estructura prefabricada de la estructura de concreto colado en sitio. La estructura de concreto colado en sitio se divide en las secciones norte y sur mediante una segunda junta de expansión.

Desafíos durante la construcción

Durante la construcción, un gran conducto de gas que iba hacia la cercana isla Hutchinson fue golpeado por maquinaria de construcción a una profundidad de 60 pies (18 metros) bajo la superficie. Esto resultó en una explosión considerable, por lo que se realizaron pruebas y análisis de los pilotes circundantes para asegurar de que no estuvieran dañados. Por supuesto, también se tuvo que reparar

el conducto de gas. Desafortunadamente, este fue el menor de los eventos que el equipo de diseño y construcción tuvo que superar.

Más adelante en el proyecto, un solo incidente casi hizo fracasar todo el proyecto. El 27 de febrero de 2020, un pequeño incendio se convirtió en una gran conflagración, que rápidamente consumió por completo los apartamentos de madera ya terminados en la sección sur y destruyó meses de trabajo realizado. El incidente puso en duda el futuro del proyecto, pero se implementó un gran esfuerzo de recuperación del incendio para salvar el proyecto.

Investigación de las Condiciones Estructurales Después del Incendio

Uzun+Case visitó la estructura justo después del incendio y en varias ocasiones durante la limpieza del nivel del pódium, que estaba cubierto de marcos de madera quemada de los apartamentos (Figura 1 y 2). Se brindaron instrucciones detalladas sobre qué equipo podía utilizarse en el nivel del pódium, que potencialmente estaba dañado. Afortunadamente, los niveles de estacionamiento postensados por debajo del pódium no resultaron dañados.

Luego, se contrató a SGS TEC Services y se realizó una inspección conjunta en la plataforma del pódium con el ingeniero estructural, el contratista y funcionarios de la ciudad. Los daños superficiales eran muy evidentes en forma de concreto desprendido, barras de refuerzo expuestas y cables de postensado dañados (Figura 3). La losa del pódium ocupaba un área de aproximadamente 45,000 ft² (4,180 m²), y se observaban grandes áreas dañadas (desprendimiento profundo del concreto) principalmente concentradas hacia el centro de la losa. Otras áreas de la losa, en su mayoría hacia los bordes, tenían poco o ningún daño. Para cuantificar las áreas dañadas que debían repararse, se eligió como mejor opción una combinación de sondeo de desprendimientos superficiales (utilizando un arrastre de cadena) y obtención de núcleos.



Fig. 1: Daños causados por el incendio a los apartamentos en Riverworks en Eastern Wharf.



Fig. 2: Otra vista de los daños por incendio a los apartamentos con estructura de madera.

Preparación para la reparación

Choate Construction retiró todos los escombros de marcos de madera y materiales de construcción de las áreas afectadas de la superficie de la estructura del pódium. Una vez completado esto, SGS TEC Services y Uzun+Case documentaron el concreto desprendido, la armadura expuesta, los cables de postensado dañados y las áreas con probables daños, para realizar una investigación ulterior invasiva.

SGS TEC Services realizó un estudio de sondeo según la norma ASTM D4580/D4580M, 'Práctica estándar para medir desprendimientos en tableros de puentes de concreto mediante sondeo'. El estudio abarcó toda la superficie de la losa para identificar el concreto desprendido que no era visible a simple vista. Debido al tamaño del área de la losa y al número de áreas dañadas, se identificaron un total de 38 áreas representativas de núcleo que debían ser muestreadas.



Fig. 3: Daños superficiales (desprendimiento) en el nivel del pódium debido al incendio.



Fig. 4: Se marcó la trayectoria de los cables de postensión.

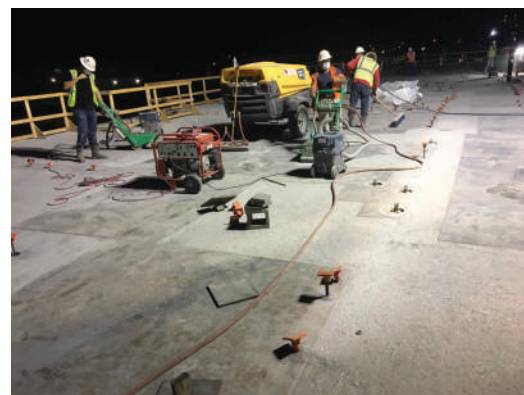


Fig. 5: El trabajo se realizó de noche para evitar altas temperaturas.

Antes de la obtención de núcleos, cada área a ser muestreada fue sometida a un escaneo con radar de penetración (GPR) para identificar tanto el refuerzo de acero como los cables de postensado. Los núcleos se obtuvieron de acuerdo con la norma ASTM C42/C42M, 'Método de ensayo estándar para la obtención y prueba de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto', con núcleos de 4 pulgadas (102 mm) retirados en el centro de las áreas visiblemente dañadas por calor, junto con núcleos en la periferia de las áreas dañadas. También se tomaron núcleos adicionales en áreas que parecían no estar dañadas para verificar los límites del impacto del daño por calor en la losa. Cada área de obtención de núcleos se seleccionó para ser la más representativa de la condición de la losa en esa ubicación.

Se realizó un análisis petrográfico limitado (según la norma ASTM C856/C856M, 'Práctica estándar para el examen petrográfico del concreto endurecido') en cada muestra para establecer la profundidad del posible daño por calor en cada área de la losa del pódium. Cada núcleo se cortó por la mitad y se pulió. Después de que todas las muestras de núcleo estuvieran preparadas, se examinaron microscópicamente para determinar la profundidad del posible daño por calor en la pasta y el agregado en esa área correspondiente. Esta información se utilizó posteriormente para especificar las reparaciones adecuadas para la losa y ayudó a cuantificar la cantidad de reparación necesaria.

Los resultados de este esfuerzo se plasmaron en un informe, y se determinó que, aunque gravemente afectada, la estructura de concreto había 'sobrevivido' al intenso calor. El desafío a partir de ese momento fue comenzar a realizar las reparaciones y poner el proyecto nuevamente en marcha lo más pronto posible. Uzun+Case se benefició de un proceso rápido y recibió el informe final de SGS TEC Services en un plazo de 2 semanas después de los trabajos de campo. Utilizando la información recopilada durante el estudio, que incluía la profundidad del daño, la condición de la pasta y el agregado, y las recomendaciones para la eliminación del material dañado, Uzun+Case prescribió un procedimiento de reparación y un cronograma.

Mientras tanto, Uzun+Case desarrolló procedimientos y detalles de reparación con la ayuda de Precision Concrete, Sika y el proveedor de postensado, DSI.

Metromont inspeccionó y reparó la estructura de estacionamiento prefabricada (los daños se pueden ver en el lado derecho de la Figura 2). Este caso no se aborda en este artículo, pero es sin duda un esfuerzo digno de mención.

Reparación de la Estructura de Concreto de la Losa del Pódium

Una vez que se eliminaron los escombros de los marcos de madera, se contrató a Precision Concrete para realizar el trabajo de reparación en la estructura. Utilizaron el radar de penetración terrestre

(GPR) para marcar las ubicaciones y la profundidad de los tendones de postensado y la armadura ligera en las áreas de la losa que se habían documentado como necesitadas de reemplazo de concreto superficial (Figura 4).

La mayor parte del trabajo se realizó de noche debido a la época del año y a las altas temperaturas en Savannah, donde puede llegar a hacer mucho calor (Figura 5).

Según el informe de SGS TEC Services, las áreas de la losa se clasificaron según la profundidad aproximada de desprendimiento causado por el incendio. Las áreas se clasificaron como Rojas (3 a 4 pulgadas [76 a 102 mm] de remoción), Naranjas (1 a 2 pulgadas [25 a 51 mm] de remoción) y Amarillas (menos de 1/2 pulgada [13 mm] de remoción). El proceso de remoción comenzó con martillos rompedores de concreto manuales (martillos neumáticos) para delinear el perímetro del área a reparar. Se utilizaron escarificadores neumáticos portátiles y a pie para eliminar el material dañado hasta llegar al concreto en buen estado. El escarificador eliminaba de 1/8 a 1/4 de pulgada (3 a 6 mm) por pasada, por lo que la mayoría de las áreas requerían varias pasadas (Figura 6).

El material de parcheo SikaQuick-1000 requería un perfil de superficie de concreto (CSP) 6, que es una escarificación media y una profundidad mínima de 1/4 de pulgada. El área se limpió con aspiradora y se lavó a presión para eliminar partículas sueltas y polvo. El acero de refuerzo se lavó a presión y se cepilló con alambre, luego se recubrió con Sika Armatec-110 EpoCem (inhibidor de corrosión). El área a reparar se preparó con una capa de imprimación de SikaQuick-1000. Se utilizó material preempacado para reparaciones de hasta 2 pulgadas de profundidad. Para áreas de 2 a 4 pulgadas de profundidad, se mezcló el material preempacado con grava de 3/8 de pulgada (9.5 mm). Todas las áreas se curaron con arpillera mojada. Se pulió toda el área para asegurar una reparación suave y una transición al concreto original. Los escarificadores estaban equipados con accesorios de aspiración y los operadores llevaban respiradores para cumplir con las normas de sílice de OSHA. Un representante de Sika estuvo presente en el lugar durante gran parte de estos trabajos. Se utilizó SikaFilm como agente de acabado de superficie y retardante de evaporación.

Las paredes en las escaleras hasta el pódium sufrieron daños similares a las losas, pero en un plano vertical. Después de limpiar las paredes de concreto, se realizó un trabajo de preparación similar, que incluyó el uso de Sika Armatec-110 EpoCem como agente de unión para todo el refuerzo expuesto y SikaRepair-223 como material de parcheo vertical (Figura 7). Las escaleras de acero resultaron completamente dañadas al menos en el primer tramo hacia abajo y tuvieron que ser reconstruidas e instaladas nuevamente.



Fig. 6: En la mayoría de las áreas se requirieron numerosas pasadas del escarificador para eliminar el concreto dañado.



Fig. 7: Reparación de parcheo vertical.



Fig. 8: Hubo que empalmar los cables de postensión con mordazas y reparar el revestimiento dañado.

Reparación PT

También se llevaron a cabo 24 reparaciones de cables de postensión en los dos meses siguientes, realizadas por DSI, con muchas circunstancias especiales que requerían escaneo, cincelado, destensado, acoplamiento y retensado por parte de especialistas en reparación de concreto tanto de DSI PT como de Precision Concrete. Adicionalmente, hubo numerosos lugares donde los cables colocados en la parte superior de la losa quedaron expuestos debido al concreto desprendido o estaban cerca de concreto desprendido y requerían examinarse para verificar que no hubiera daños. Todas estas secciones tuvieron que ser reparcheadas utilizando el método de reparación de losa mencionado anteriormente después de que se reparara el revestimiento dañado de los tendones.

Muchos de los 24 cables tuvieron que ser destensados si estaban parcialmente rotos. El destensado llevó a cabo DSI cortando los hilos individuales o calentando las anclas para liberar el estrés de manera lenta y segura. En ambos casos, se apuntaló la losa y el trabajo fue realizado por personal experimentado certificado en reparación de postensado.

El proceso de calentamiento comenzaba con un cuidadoso cincelado del anclaje del postensado para exponer el hilo y las cuñas. Luego, se calentaba el anclaje para que las cuñas se deslizaran lentamente y aliviaran la tensión. Los tendones sin estrés se retiraban y se sustituían por nuevos tendones a través de la losa.

Utilizando el método de corte, al tendón expuesto en el punto de daño se le cortaba un hilo a la vez hasta que el tendón quedara completamente cortado; luego, los tendones podían retirarse y se pasaban nuevos.

Después de destensar los tendones, los cables se empalmaron con mordazas, se reparó el revestimiento dañado y la losa se reparó nuevamente (Figura 8). Finalmente, los tendones se volvieron a tensar y se medían y aprobaban las elongaciones.

Después de realizar todas las reparaciones, Precision Concrete utilizó equipo de pulido de concreto para suavizar las transiciones en las losas reparadas.

Resumen

Los costos de este proyecto incluyeron 1.5 millones de dólares estadounidenses para la reparación de la estructura de estacionamiento y las reparaciones de concreto, 7 millones de dólares estadounidenses para la demolición y la mitigación de incendios, y 6 millones de dólares estadounidenses para reconstruir la estructura de madera.

Lo que se descubrió en Riverworks en Eastern Wharf es un testimonio de las propiedades inherentes del concreto (fortaleza, durabilidad y resistencia al fuego), que hacen que las estructuras sean sólidas y duraderas, difíciles de sufrir daños severos. La madera fue una pérdida total en este caso, y una cantidad significativa de acero tuvo que ser reemplazado.

Nota: Puede encontrar información adicional sobre las normas ASTM discutidas en este artículo en www.astm.org.



El miembro del ACI, **Robert M. Weilacher**, es Director en Uzun+Case, LLC, en Atlanta, GA, EE. UU. Es miembro del Comité 130 del ACI, de Sostenibilidad del Concreto. Además, fue Presidente del Capítulo de Georgia del ACI y de la Asociación de Ingenieros Estructurales de Georgia. Obtuvo su licenciatura y maestría en Ingeniería Civil en el Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta, GA.



El miembro del ACI, **Jim Newsome**, es Vicepresidente de Precision Concrete Construction, Inc., con sede en Alpharetta, GA. Tiene más de 40 años de experiencia en la industria de la construcción y ha trabajado con Precision durante más de 20 años. Ha formado parte de la Junta Directiva del Capítulo de Georgia del ACI durante 6 años. Obtuvo su licenciatura en Ingeniería de Construcción y Gestión en la Universidad de Purdue, West Lafayette, IN, EE. UU.



El miembro del ACI, **George H. Harrison**, es el Director y Gerente del Grupo de Pruebas No Destructivas en Contour Engineering, LLC, en Norcross, GA. Es miembro de los Comités 302 del ACI, Construcción de Pisos de Concreto, y 332, Trabajo de Concreto Residencial. Además, fue Presidente del Capítulo de Georgia del ACI. Obtuvo su licenciatura en Geología en el Southampton College – Universidad de Long Island, Southampton, NY, EE. UU.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de Costa Rica

Título: Riverworks en la reparación por incendio en Eastern Wharf



Traductor:
Diego Masis Guntanis



Revisor Técnico:
Ing. Ronald Steinworth Sauter



Riverworks (Eastern Wharf)

火災事故の復旧工事

ー 米国 Georgia 州 Savannah でのケーススタディ ー

著：Robert M. Weilacher, Jim Newsome, and George H. Harrison

訳：福地 啓太

Riverworks は、米国 Georgia 州 Savannah にある複合構造の施設である。建設現場で大規模な火災が発生し、このプロジェクトに甚大な被害をもたらした。本稿では、火災後の構造物の状態調査、損傷評価、損傷を受けたポディウムスラブとポストテンションケーブルの修復について述べる。

キーワード：火災復旧、ポディウムスラブ、ポストテンションケーブル

1. はじめに

Savannah 川東部の川沿いに広がる Eastern Wharf の Riverworks は、22 ha 規模の開発プロジェクトの目玉で、コンクリートを主構造とした複合構造である。本建物は、2 層の場所打ちコンクリート造（以下、CS）駐車場と木造骨組の集合住宅を支持するポディウムスラブ*が、6 階建てプレキャストコンクリート造（以下、PCa）駐車場を取り囲むような配置で構成されている。（訳者註* Podium Slabs：主に下層がコンクリート造の駐車場で上部が木造や鉄骨造の集合住宅など、異なる構造・荷重条件を組み合わせた構造物の境界となる階層に適用する床版構造のことで、コンクリート系の中空床版であることが多い）Metromont 社（以下、M 社）が PCa 駐車場の構造設計を担当した。Davis & Church 社は木造集合住宅を設計し、Uzun + Case 社（以下、UC 社）が CS 駐車場とポディウムスラブ構造、全体の基礎を設計した。

本計画の敷地は地盤条件の悪い川沿いに位置し、基礎には 1 400 本以上ものプレキャスト杭を使用した。杭頭と地中梁は剛結構造とし、基礎スラブを組み合わせ採用した。プレキャスト杭は正規の高さで設置するために、すべての杭で多少のはつりが必要となった。CS 駐車場には耐震構造種別（以下、SDC*）C が、PCa 駐車場には SDC：D が適用された。（訳者註* Seismic Design Category：重要度係数と地震の活動度から 6 つの段階に分類される構造種別。分類ごとに制限値や解析方法などの規定が設けられている¹⁾）施工に際して、深い位置の杭頭や地下ピットに常在する地下水が、基礎工事を困難なものとした。柱間にまたがる基礎スラブが最下層の駐車場床面となるよう、地中梁が傾斜*している必要がある、さらに、最下層の床面には耐防水性 + 耐蒸気性の確保に要する施工順序などの細かい条件が要求されたためである。（訳者註* 自走式立体駐車場で、長手方向の片側がスロープとなっている）

本計画の敷地は、過去に大規模な地震災害が発生した South Carolina 州 Charleston に比較的近く、地盤条件が悪いため、大きな地震荷重と厳しい設計基準が求められ

た。また、沿岸部であったため、強風の影響も想定する必要があった。

工期を遵守するため、プレキャスト部と場所打ち部を同時施工する計画とした。そのために、北側で場所打ちの施工を行うと同時に南側でプレキャスト部の架設を行い、最終的に 2 つの作業を入れ替えた。上棟時の場所打ちコンクリートの打込み量は 16 820 m³ 以上で、1 360 t の鉄筋、136.1 t のポストテンション（以下、PT）ケーブルが使用された。

本建物は、エキスパンションジョイントによりプレキャスト部と場所打ち部を分離した構造である。場所打ち部は、別のエキスパンションジョイントによって南北にも分割されている。

2. 施工中に直面した事象

施工中、地表から 18 m の深さにおいて、近くの Hutchinson 島へ通ずる大型ガス本管に建設機械が接触した。それによりガス管に相当規模の破裂が生じたため、周囲の杭に損傷がないことを確認するための試験と分析を行った。当然ながら、ガス管も修復しなければならなかった。あいにく、この事故は設計・施工者が対応した中では小さな部類となった。

施工が進み、さらなる事故でプロジェクトが頓挫しかけることとなった。2020 年 2 月 27 日、小さな火種から大規模な火災に発展し、完工した南側の木造集合住宅部分を瞬く間に飲み込み、施工業者の数カ月の進捗分を焼失した。この事故により、本工事の竣工が一時的に危ぶまれたが、竣工に向けて復旧作業を実施した。

3. 火災後の状態調査

UC 社は、火災直後とポディウムスラブ階の残骸の後片付け中に何度か現場を訪れた。そこは焼失した集合住宅の木造骨組の残骸で覆われていた（図 - 1, 2）。損傷を受けた可能性のあるポディウムスラブ上でどのような機材を用いて作業できるかについて、入念な指導が行われた。幸いにも、ポディウムスラブ下のポストテンション構造の駐車場階に被害はなかった。



図 - 1 集合住宅部の被災状況



図 - 2 集合住宅部の木造の被災状況（別アングル）

調査には、SGS TEC Services 社（以下、STS 社）が任命され、構造技術者、施工者、市関係者とともにポディウムスラブ上を見回った。目視によると、コンクリートの剥離、鉄筋の露出および PT ケーブルの損傷が一目瞭然であった（図 - 3）。ポディウムスラブは約 4180 m^2 の広さで、明確に判定できる損傷部分（かなり深い剥離）は主に中央部に集中していた。その他の部分（主にスラブの端部）には、ほとんど損傷がなかった。修復が必要な損傷範囲を定量的に評価するため、表面剥離サウンディング（チェーンドラッグ*を使用）とコア抜きとの組合せを最適な調査方法として選定した。（訳者註 * Chain Drag：中程度から重度の剥離箇所を素早く判定する打音検査（Sounding）の一種）

4. 補修の前処理

Choate Construction 社は、被災したポディウムスラブ上から、木材の残骸と建設資材をすべて撤去した。撤去後、さらなる詳細調査に向けて、STS 社と UC 社は、コンクリートの剥離、鉄筋の露出、損傷した PT ケーブルあるいは損傷の可能性が高い箇所について記録した。

STS 社は、ASTM D4580/D4580M「サウンディングによるコンクリート橋床版の層間剥離の標準測定法」に従い、チェーンドラッグ調査を実施した。調査はスラブ表



図 - 3 ポディウムスラブ部表面の被災状況

面全体で行い、目視では確認できない剥離コンクリートを特定した。スラブ面積の広さと損傷箇所の多さから、合計 38 箇所の代表的なコア採取箇所を選定した。コア抜きに先立ち、採取するそれぞれの箇所を地中レーダー（以下、GPR）で探査し、鉄筋と PT ケーブル両方の位置を確認した。コアは、ASTM C42/C42M「コンクリートの削孔コアおよび切抜き梁の採取と試験の標準試験方法」に従い、損傷範囲の周辺部と目視で明らかな熱損傷部中心を避けた位置から呼び径 100 mm （4 in.）サイズで採取した。また、スラブの熱損傷影響の限度を検証するため、損傷がないと視認される範囲でも追加のコアを採取した。各コア抜き位置は、その範囲のスラブ状態をもっとも代表するように選定した。

各コアサンプルについて、限定的な岩石分析（ASTM C856/C856M「硬化コンクリートの岩石分析の標準実施方法」による）を実施し、ポディウムスラブの各部における熱損傷の可能性のある深さを特定した。まず、各コアサンプルを半分に切断し研磨した。すべてのコアサンプルの加工後、各サンプルを顕微鏡で調べ、対象部分のペーストと骨材の熱損傷の可能性のある深さを検証した。この知見は、後にスラブの適切な修復方法と必要な量を定量化するのに役立てられた。

これらの調査・検討が報告書としてまとめられ、当該コンクリート構造部は過酷な状況で被災したものの、火災を「生き延びた」と結論付けられた。それ以降の課題は、一刻も早く修復を開始し、工事を軌道に戻すことであった。UC 社は、STS 社の迅速な精査対応のおかげで、現地調査から 2 週間を待たずに最終報告を受け取った。UC 社は、調査中に収集した情報（損傷深さ、ペーストと骨材の状態、損傷した材料の除去深さの推奨値など）をもとに、修復手順と工程を策定した。

それと同時に、UC 社は Precision Concrete 社（以下、PC 社）、Sika 社（以下、S 社）、DSI 社（PT サプライヤー）の協力を得て、修復の手順とその詳細内容を作成した。

M 社は、PCa 駐車場を調査・修復した（図 - 2 右側に損傷が見える）。その内容を本稿では取り上げていないが、注目すべき取組みであることに違いない。



図 - 4 PT ケーブルの探査



図 - 5 高温を避けた夜間作業

5. ボディウムスラブ構造の修復

木材の残骸の撤去後、PC 社がボディウムスラブ構造の修復工事を請け負った。コンクリート表面の打替えが必要であると判定されたスラブ内にある PT ケーブルおよび普通鉄筋の位置と深さを探査するために、GPR を使用した（図 - 4）。

この時期の Savannah は気温がかなり高くなるため、ほとんどの作業は夜間に行われた（図 - 5）。STS 社の報告書に基づき、火災の影響によるおおよその剥離深さごとにスラブの区域を分類した。

区域は、赤（はつり量 3 in. ～ 4 in. (50 * ～ 100 mm)）、橙（同 1 in. ～ 2 in. (13 * ～ 50 mm)）、黄（同 0.5 in. (13 mm) 未満）に分類した。（訳者註 * 後述の補修厚さから、赤と橙の分類の閾値は 2 in. = 50 mm、同じく橙と黄は 0.5 in. = 13 mm と推察）携行型コンクリートブレイカー（ブッシュハンマー）を用いて、補修箇所の輪郭部のはつり作業を始めた。携行サイズの自走型空気圧式スクャブラーを使用して、健全なコンクリート部に達するまで被災部分をはつり取った。スクャブラーは 1 回の作業で 3 ～ 6 mm 程度のはつり量であるため、大部分で何度も作業を繰り返す必要があった（図 - 6）。

補修用モルタルを用いるには、中程度の目荒らしとなる最低深さ 6 mm（CSP（Concrete Surface Profile：コンクリート表面形状）6）を必要とした。補修範囲は、高圧洗浄で浮いた欠片や埃を取り除き、集塵した。鉄筋も高圧洗浄し、ワイヤーブラシで研磨後、防錆剤を塗布し



図 - 6 大部分で繰返しはつり出したコンクリート被災部の除去



図 - 7 壁上部の修復

た。その後、補修箇所に補修用モルタルの下地材を下塗りした。厚さ 50 mm までの補修には、モルタル材のみを使用した。厚さ 50 ～ 100 mm の補修には、モルタル材に 9.5 mm の粗骨材を練り混ぜ、嵩増して使用した。すべての補修完了箇所は麻布で覆い湿潤養生した。養生後、健全部のスラブと平滑に一体化するため、補修箇所全体を研磨した。スクャブラーには吸引装置を装備し、作業者は OSHA シリカ基準*に準拠して呼吸用保護具を着用した。（訳者註 * Respirable crystalline silica（Occupational Safety and Health Administration）：米国労働省職業安全衛生局の吸入性結晶質シリカに関する基準）S 社の担当者は、多くの補修作業に立ち会った。材料には、表面仕上げ剤と凝結遅延剤を含むものを採用した。

ボディウムスラブに通じる階段室の壁については、鉛直面ではあるがスラブと似たような損傷を受けた。コンクリート壁の清掃後、露出した鉄筋すべてに接着剤を塗布し、補修部に補修材を使用するなど、スラブの場合と同様の準備を行った（図 - 7）。

鉄骨階段は、少なくとも最上段の踏み板が完全に損壊しており、再製作して設置し直さなければならなかった。

6. PT ケーブルの補修

DSI 社がその後 2 か月かけて、PT ケーブル補修を完了させたケーブル数は 24 ケーブルとなり、それには



図 - 8 PT ケーブルの接続とシースの修復部

DSI 社と PC 社のコンクリート補修専門スタッフによる多くの特殊な作業（探査、はつり出し、除荷、接続、再緊張）が必要とされた。さらに、コンクリートが剥離してスラブの高い位置の PT ケーブルが露出している箇所や、剥離したコンクリートに近接している箇所が多数あるため、損傷の有無を確認する検査が必要だった。これらの箇所では、損傷した緊張材のシース部をすべて補修した後で、前述のスラブ補修を施さなければならなかった。

緊張材の一部が破断などの状態にあったため、24 ケーブルのほとんどで緊張力を除荷しなければならなかった。DSI 社は、ゆっくりと安全に引張力を解放するため、緊張材の素線を 1 本ずつ切断する方法や、定着具を加熱する方法を用いて除荷を行った。いずれもスラブを支保工で支持したうえで、PT ケーブル補修の資格を持つ経験豊富な職員が作業を行った。

加熱作業では、定着具を慎重にはつり出し、緊張材余長とくさびを露出させることから始まった。次に、くさびがゆっくりと滑るように定着具を加熱し、引張力を解放した。除荷した緊張材を引き抜き、新たな緊張材をスラブに配線した。

切断法では、露出した損傷箇所で緊張材が完全に切断されるまで素線を 1 本ずつ切断し、緊張材を引き抜いて新たに配線できるようにした。

除荷後、緊張材を接続具でつなぎ、シースの損傷範囲を補修して、スラブを復旧した（図 - 8）。最後に、緊張材を緊張し、伸びを測定する緊張管理を行う必要があった。

すべての補修が終わった後、PC 社はコンクリート研磨機を用い、修復したスラブの凹凸を解消した。

7. おわりに

本プロジェクトの費用として、駐車場の修復とコンクリート補修に 150 万米ドル、解体と火災事後対応に 700 万米ドル、木造部の再築に 600 万米ドルが計上された。

本事例では、致命的な損傷を受けにくく非常に丈夫で長持ちな構造に、コンクリートの有する特性（強度、耐久性、耐火性）が寄与していることを示唆している。今回、木造部は完全に焼失し、相当量の鋼材も交換しなければならないほどの被害を受けた。

この記事は「Concrete International」2023 年 10 月号（米国コンクリート工学会）に掲載されたものです。

This article originally appeared in the October 2023 issue of Concrete International. Reprinted courtesy of American Concrete Institute.

参考文献

- 1) 加登ら:「耐震設計規定と耐震性能評価の実践に関する日米比較」, 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集第 12 巻 第 45 号, pp.1-7, 2005.3

原典

Robert M. Weilacher, Jim Newsome, and George H. Harrison: Riverworks at Eastern Wharf Fire Repair, Concrete International, Vol.45, Issue 10, pp.38-41, 2023.10

【2024 年 4 月 3 日受付】



刊行物案内

繊維強化ポリマー（FRP）のコンクリート構造物への適用に関する設計・施工指針

令和 2 年 9 月

定価 9,240 円（税込）／送料 500 円

会員特価 7,700 円（税込）／送料 500 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会