

03+04/11 steeldoc

Erdbebensicher Bauen

Konzeption und
Tragwerksplanung



Nicht nur weltberühmt – auch erdbebengeprüft

Bauherrschaft

Stadt Sendai, Miyagi Japan

Architekt

Toyo Ito and Associates, Tokyo, Japan

Tragwerksingenieur

Sasaki Structural Consultant, Tokyo, Japan

Baujahr

2001

Die Mediathek in Sendai, ein Werk des Architekten Toyo Ito, hat mit ihrer minimalistischen Ästhetik, ihrer Leichtigkeit und Transparenz weltweit Aufsehen erregt. In enger Zusammenarbeit realisierten Architekt und Ingenieur die architektonische Vision. Während des Erdbebens vom März 2011 hat sich das Stahltragwerk auf eindruckliche Weise bewährt.

Mutsuro Sasaki*

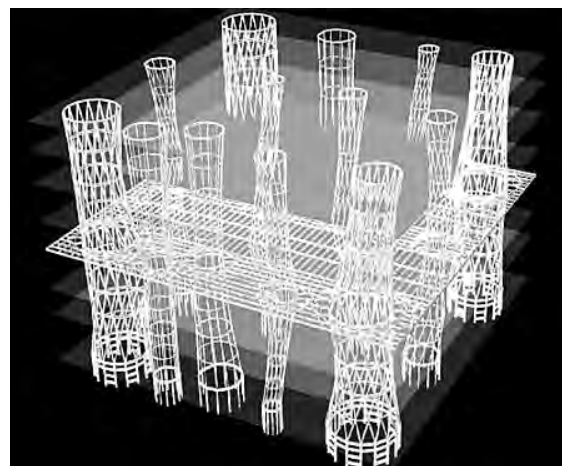
Runde, fachwerkartige Stahlrohrstützen, die sich organisch gekrümmt wie Baumstämme in die Höhe ranken, leichte, dünne Decken und eine transparente Haut, auf diese drei Hauptelemente reduzierte der Architekt sein Projekt für die Mediathek in Sendai. Das siebengeschossige Gebäude wurde 2001 fertig gestellt und ging aus einem Wettbewerb hervor. Es beherbergt eine Bibliothek und Mediathek, eine Kunstgalerie und ein Kino. Das Erdgeschoss funktioniert als ein ins Gebäude fließender öffentlicher Raum für verschiedene Anlässe mit Informationszentrum, Café und Laden. Der Architekt spricht von seiner ersten Idee als von «Etwas, das in einem Aquarium schwimmt». Er wollte einen Raum schaffen mit Licht und Luft, der wie Wasser konstant fließt.

Entsprechend anspruchsvoll war die statische Umsetzung dieser Vorstellung für den Ingenieur. Er beschreibt die erste Skizze des Architekten als «ein poetisches Bild jenseits jeglicher bekannter Realität». In enger Zusammenarbeit haben Architekt und Inge-

nieur den kühnen Entwurf erfolgreich umgesetzt. Unterdessen ist das Gebäude nicht nur weltberühmt, sondern auch erdbebengeprüft. Das Tragwerk hat das Erdbeben vom März 2011 schadlos überstanden. Im Folgenden beschreibt der Ingenieur Mutsuro Sasaki das Tragwerkskonzept und erläutert die Ein- und Auswirkungen des Erdbebens.

Statisches Konzept

Die Mediathek in der japanischen Stadt Sendai setzt ein neuartiges Tragwerkskonzept um. Das 32 Meter hohe Gebäude umfasst zwei unterirdische und sieben oberirdische Geschosse mit einer Grundrissfläche von je 50 x 50 Metern. Zwei Konstruktionselemente, «Platten» und «Röhren», bilden das Tragwerk in Form von 6 dünnen Deckenplatten und 13 baumartigen «Rohrstützen», welche die Decken über alle Ebenen durchstossen. Sie dienen als flexible Tragelemente und nehmen gleichzeitig die Vertikalerschließung und die Versorgungsleitungen auf. Diese durchsichtigen Röhren bestehen aus einer Gitterstruktur aus HP- und





schlanken Rohrprofilen. Ein Dämpfersystem im Fundament sorgt für die Energieabsorption bei Erdbeben.

Die Röhren

Die Röhren (fachwerkartige hohle Stahlpfeiler) sind filigrane Strukturen aus feinen Stahlelementen, die dem Bauwerk höchste Transparenz und Subtilität verleihen. Insgesamt gibt es 13 solcher Röhren unterschiedlicher Grösse. Ihre Durchmesser variieren von zwei bis neun Meter. Diese Röhrenfachwerke tragen die Deckenplatten und bilden das erdbebensichere Haupttragwerk. Die vier Röhrentürme mit dem grössten Durchmesser wirken als im Boden eingespannte Kragarme, über die Erdbebenkräfte abgetragen werden. Sie sind über alle Geschosse an den vier Gebäudecken angeordnet, um Torsion infolge von Exzentrizität zu vermeiden. Die übrigen neun Röhren haben kleinere Durchmesser und nehmen praktisch keine Horizontalkräfte auf. Sie übernehmen vor allem Vertikalkräfte und sind über den gesamten Grundriss verteilt.

Die Platten

Die Deckenplatten mussten bei einer Spannweite von rund 20 Metern möglichst dünn sein. Aufgrund ihrer ausgezeichneten Einzeltragfähigkeit wurde eine Sandwich-Stahl-Konstruktion (400 Millimeter Stärke in einem 1-Meter-Raster) ausgewählt. Sie setzt sich aus 6 bis 12 Millimeter dicken Stahlplatten und Stahlscheiben zusammen, zwischen denen eine Trägerkonstruktion aus 16 bis 25 Millimeter dicken Rohren angeordnet ist. Darüber wurden 70 Millimeter Leichtbeton eingebracht, um den Einbau von Schubverbindern zu ermöglichen. Die Sandwich-Stahl-Konstruktion ist in drei Zonen eingeteilt, die der Spannungsverteilung in der 50 x 50 Meter grossen balkenlosen

Decke mit festem Auflager auf den 13 Röhren entsprechen. Die vorgefertigten Sandwich-Elemente konnten leicht transportiert und auf der Baustelle mit den Deckenplatten verschweisst werden. Die Methode ist insofern experimentell, als sie Schiffsbaumethoden im Hochbau anwendet.

Absorption von seismischer Energie

Das Spezielle an der Planung und Projektierung dieses erdbebensicheren Gebäudes ist die schadensbegrenzende Bauweise. Ein Mechanismus zur Hysterese-Dämpfung, der seismische Energie absorbiert, wurde ins Fundament eingelassen. Erdbebenkräfte, die auf das Stahltragwerk einwirken, werden ins Fundament abgeleitet, dabei werden das Tragwerk im Erdgeschoss und die unterirdischen Umfassungsmauern (nur mit vertikalem Auflager, horizontal auf Rollenlagern) getrennt. Bei einem starken Erdbeben wird die seismische Energie auf der untersten Ebene des Tragwerks, im ersten Untergeschoss, absorbiert. Damit werden die darüber liegenden Ebenen entlastet. Dies dank der Pfähle, die im ersten Untergeschoss duktil sind, während die Stützen in den oberirdischen Geschossen aus biegesteifen Fachwerkstrukturen bestehen.

Selbst wenn das erste Untergeschoss, das so konstruiert ist, dass es einen Grossteil des Schadens aufnimmt, bei einem tausendjährigen Erdbeben bleibend deformiert würde, könnte sich die unterste Ebene horizontal bewegen, da die Stützen unten in Gussstahlgelenke münden, die frei rotieren können. An geplanten Bruchstellen geknickte Balken können entfernt und ersetzt werden. Das System ist so konstruiert, dass Schäden mithilfe eines an den steifen Wänden im Untergeschoss angesetzten Hydraulikhebers einfach repariert werden können.



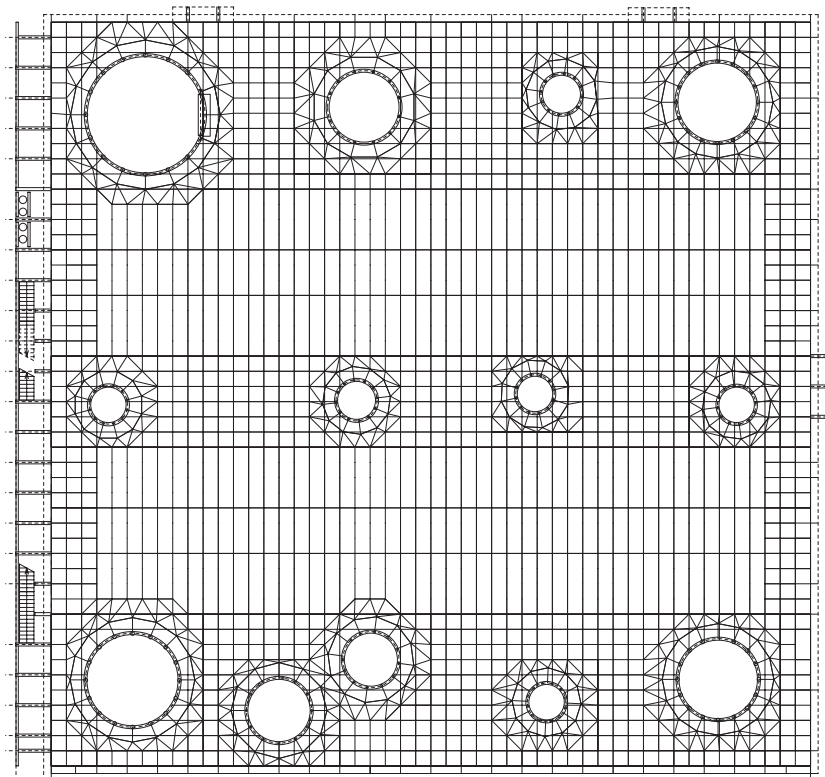
*Beschrieb Tragwerk und Bilder: Mutsuro Sasaki,
 Prof. Dr. Nagoya University, Nagoya, Japan;
 Structural Engineering
 International 3/2002

Folgen Erdbeben:
 Prof. Dr. Mutsuro Sasaki,
 SAPS. CO., LTD., Tokyo, Japan

Ort Sendai, Miyagi Japan
Bauherrschaft Stadt Sendai, Miyagi Japan
Architekt Toyo Ito and Associates, Tokyo, Japan
Tragwerksingenieur Sasaki Structural Consultant, Tokyo, Japan
Generalunternehmer Joint Venture of Kumagai, Takenaka,
 Ando and Hashimoto, Japan-Fonds
Baukosten USD 10 Millionen
Fertigstellung 2001

Folgen des Bebens von März
 2011 : Teile der abgehängten
 Decke im siebten Stock fielen
 während des Erdbebens
 herunter.

Detail Stützenfuss Mst. 1:50
 1 Gussstahl
 2 Feder

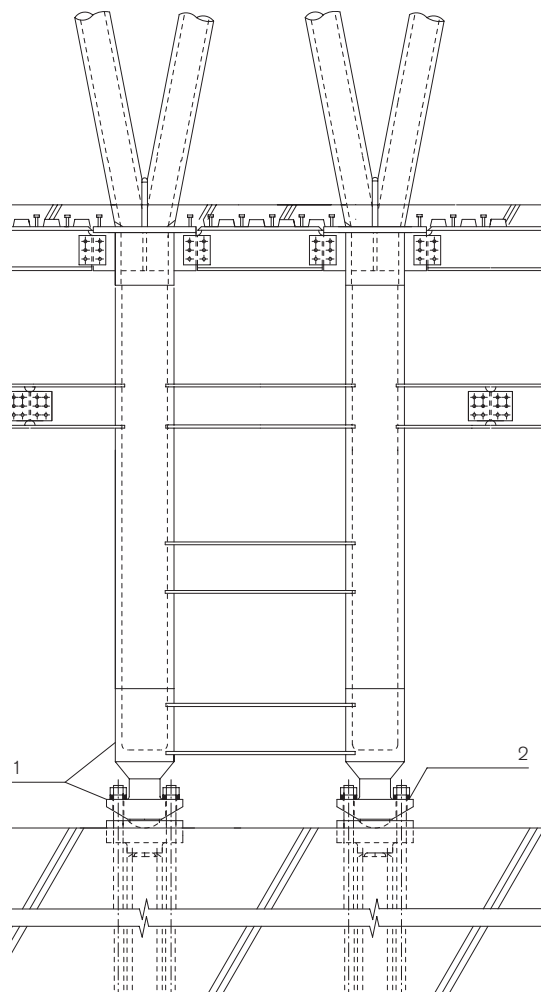


Grundriss M 1:500

Das Erdbeben vom 11. März 2011 und die Folgen

In der Nähe der Mediathek von Sendai wurde eine maximale Bodenbeschleunigung von 2 m/s² gemessen. Damit wurde die Horizontalkraft, für die der Bau ausgelegt war, nicht übertroffen. Die Primärkonstruktion des Gebäudes reagierte innerhalb des elastischen Bereichs und blieb unbeschädigt.

Einige nichttragende Elemente hingegen wurden zerstört. Bemerkenswert ist das Verhalten der abgehängten Decke im siebten Stock. Sie verhielt sich



wie ein Einzelpendel und erreichte dieselbe Frequenz wie die Eigenschwingung des Gebäudes. Die Resonanz führte zu grösseren Ausschlägen und Teile der Decke fielen herunter. Hinter den Decken wurden nun Verstreben angebracht, um Resonanzen zu verhindern. Zudem wurden sie neu aus leichterem Material gefertigt, was zusätzliche Sicherheit bietet. Die restlichen kleineren Reparaturarbeiten wurden in Zusammenarbeit mit dem Architekten Toyo Ito & Associates und der Stadt Sendai ausgeführt. Die Mediathek ist inzwischen wieder geöffnet.

Impressum

Literatur und Quellen Schweiz

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich:

Norm SIA 260 (2003): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Norm SIA 260.801 (2004) EN 1998-1: Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1, Grundlagen, Erdbebenwirkungen und Regeln für Hochbauten.

Norm SIA 261 (2003): Einwirkungen auf Tragwerke

Norm SIA 263 (2003): Stahlbau

Merkblatt SIA 2018 (2004): Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben

Dokumentation SIA D 0180 (2004): Fachausdrücke der Tragwerksnormen – Terminologie und Definitionen.

Dokumentation SIA D 0181 (2003): Grundlagen der Projektierung von Tragwerken – Einwirkungen auf Tragwerke – Einführung in die Normen SIA 260 und 261.

Weitere:

Bachmann H. (2002): Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten – Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bern.

Bachmann H. (2002): Erdbebensicherung von Bauwerken. Birkhäuser Verlag, Basel.

Paulay T., Bachmann H., Moser K. (1990): Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten. Birkhäuser Verlag, Basel.

Smit P. (2004): Entstehung und Auswirkungen von Erdbeben. Forum 4/2004. Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.

Wenk T., Lestuzzi P. (2003): Erdbeben. In: Dokumentation SIA D 0181, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken – Einwirkungen auf Tragwerke – Einführung in die Normen SIA 260 und 261. S. 59–66. SIA Zürich

Wenk T. (2005): Erdbebeneinwirkung. In: Dokumentation SIA D 0211, Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben – Einführung in das Merkblatt SIA 2018. S. 9–16, SIA Zürich

Weidmann M. (2002): Erdbeben in der Schweiz. Verlag Desertina, Chur.

Lignum, Holzwirtschaft Schweiz: Erdbebengerechte mehrgeschossige Holzbauten. Technische Dokumentation der Lignum, Zürich, 2010

Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen sowie Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2005): Erdbebensicheres Bauen in der Schweiz – Worauf es ankommt und warum. Zürich.

Schweizerischer Erdbebendienst SED (2002): Swiss Hazard Map. (<http://www.earthquake.ethz.ch>)

Bundesamt für Umwelt BAFU (2004): Erdbebengefährdung der Schweiz, Geologische Standorteffekte (Mikrozonierung). (<http://www.bafu.admin.ch>)

übrige Quellen siehe Artikel/Bibliographien und Nachweise

Impressum

steeldoc 03+04/11, erschienen Mai 2012
Erdbebensicher Bauen - Konzeption und Tragwerksplanung

Herausgeber:
SZS Stahlbau Zentrum Schweiz, Zürich
Evelyn C. Frisch, Direktorin

Redaktion:
Evelyn C. Frisch (verantwortlich)
Mitarbeit: Ann Schumacher, Virginia Rabitsch, Sascha Roesler.
Critical Review: Kerstin Pfyl-Lang, Zürich; Michel Crisinel, Lausanne unter Mitwirkung der Autoren

Layout:
Evelyn C. Frisch und Virginia Rabitsch, SZS
Pläne und Grafiken teilweise überarbeitet von circa drei, München

Fotos und Pläne:
Titel: Yves André, St-Aubin-Sauges
Editorial: Raffaele Landolfo, Neapel
Interview: Fotos: Katja Jug; Abbildungen: Erdbeben von Basel: Erdbeben und Kulturgüter, S. 13
Tragwerksplanung und Bemessung: Raffaele Landolfo, Universität Federico II, Neapel u.a. (zvg. aeob), Quellen siehe Artikel
Erdbebengerechter Entwurf: siehe Artikel
Ecole de la Maladière: Yves André, St-Aubin-Sauges S. 16, 17, 21; Ingeni SA, Genf S. 19, Pläne und Schemas: Planungsbüros
Bestehende Gebäude: siehe Artikel
Produktionsgebäude K90: Fotos und Pläne zur Verfügung gestellt von Gruner AG und Flubacher-Nyfelner+Partner Architekten
Erdbebensicher Bauen in Japan: siehe Artikel
Mediathek in Sendai: siehe Artikel

Designkonzept: Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zürich

Administration, Versand: Giesshübel-Office, Zürich
Druckvorstufe und Druck: Kalt-Zehnder-Druck AG, Zug

ISSN 0255-3104

Jahresabonnement Inland CHF 48.– / Ausland CHF 60.–
Einzelexemplar CHF 15.– / Doppelnummer CHF 25.–
Preisänderungen vorbehalten. Bestellung unter www.steeldoc.ch

**Steeldoc abonnieren für CHF 48.- im Jahr
(Studierende gratis) auf www.steeldoc.ch**

Bauen in Stahl / steeldoc© ist die Bautendokumentation des Stahlbau Zentrums Schweiz und erscheint viermal jährlich in deutscher und französischer Sprache. Mitglieder des SZS erhalten das Jahresabonnement und die technischen Informationen des SZS gratis.

Die Rechte der Veröffentlichung der Bauten bleiben den Architekten vorbehalten, das Copyright der Fotos liegt bei den Fotografen. Ein Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Haftungsausschluss: Herausgeber und Autoren haften nicht für Schäden, die durch die Anwendung vorliegender Publikation entstehen könnten.