

03+04/11 steeldoc

Construction parasismique

Conception et
dimensionnement



Un ouvrage de notoriété internationale à l'épreuve des séismes

Maître de l'ouvrage

Ville de Sendai, Miyagi, Japon

Architecte

Toyo Ito and Associates, Tokyo, Japon

Ingénieur structure

Sasaki Structural Consultant, Tokyo, Japon

Année de construction

2001

Conçue par l'architecte Toyo Ito, la médiathèque de Sendai doit son retentissement international à son esthétique minimaliste, sa légèreté et sa transparence. L'ingénieur et l'architecte ont œuvré en étroite collaboration pour concrétiser la vision de ce dernier. La structure porteuse métallique a résisté de manière spectaculaire au tremblement de terre de mars 2011.

Mutsuro Sasaki*

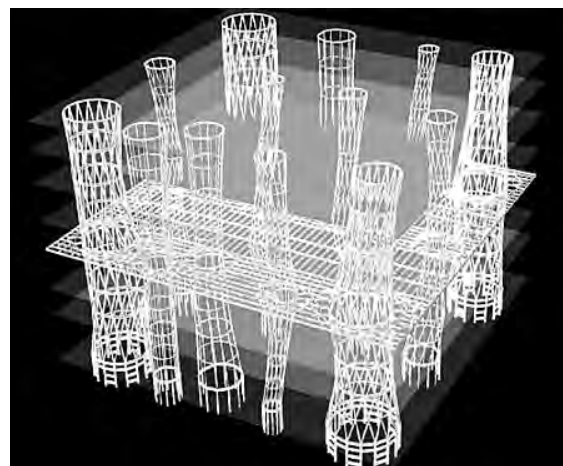
Pour la médiathèque de Sendai, l'architecte a réduit son projet à trois éléments principaux: des colonnes d'acier en résille de forme organique qui, tordues tels des troncs d'arbres, grimpent à l'assaut du ciel, des dalles légères et de faible épaisseur ainsi qu'une peau transparente. Erigé à la suite d'un concours remporté par Toyo Ito, cet édifice de sept étages a été achevé en 2001. Il abrite une bibliothèque et une médiathèque, une galerie d'art et un cinéma. Le rez-de-chaussée forme un espace public fluide et décloisonné, conçu pour accueillir différentes activités puisqu'il est doté d'un centre d'information, d'un café et d'une boutique. Commentant son idée première, l'architecte évoque «quelque chose de flottant dans un aquarium». Il souhaitait créer un espace d'air et de lumière, qui, comme l'eau, coule en permanence.

L'enjeu était donc de taille pour l'ingénieur chargé de la mise en œuvre structurale de cette vision architecturale. Il décrit du reste la première ébauche de Toyo Ito comme «une image poétique transcendant toute réalité

connue». Grâce à leur étroite collaboration, les deux hommes ont pu mener à bien cet audacieux projet. Le bâtiment qui jouit d'une notoriété internationale a aussi prouvé qu'il était à l'épreuve des séismes. Sa structure porteuse a en effet résisté au tremblement de terre de mars 2011 sans aucun dommage. Dans les paragraphes qui suivent, l'ingénieur Mutsuro Sasaki décrit la conception de la structure porteuse et explique l'impact du séisme sur cette dernière.

Système statique

La médiathèque de Sendai présente un système inédit de structure porteuse. D'une hauteur de 32 m, l'édifice comprend deux niveaux en sous-sol et sept niveaux de 50 x 50 m en élévation. Deux éléments, «plateaux» et «tubes», constituent la structure porteuse qui se décompose donc en 6 dalles minces et 13 «colonnes tubulaires» rappelant des arbres qui traversent les dalles des fondations à la toiture. Flexibles, ces tubes servent d'éléments porteurs et assurent le passage des circulations verticales et des conduites d'alimenta-





tion. Tout en transparence, ils sont formés d'une structure en résille de profilés HP et de profilés tubulaires à paroi mince. Un système d'amortissement intégré aux fondations permet d'absorber l'énergie en cas de séisme.

Les colonnes métalliques creuses en résille sont des structures constituées de fins éléments en acier, qui confèrent à l'ouvrage une transparence et une délicatesse extrêmes. La médiathèque compte au total 13 de ces tubes de dimensions différentes et de diamètre variant entre deux et neuf mètres. Ces résilles tubulaires supportent les dalles et forment la principale structure porteuse aux propriétés parasismiques. Les quatre tours tubulaires de plus grand diamètre font office de bras en porte-à-faux ancrés dans le sol, transmettant les forces sismiques. Sur toute la hauteur du bâtiment, elles sont disposées aux quatre angles afin d'éviter toute torsion due aux mouvements excentriques. Les neuf autres tubes, présentant des diamètres réduits, ne supportent en fait quasiment aucune force horizontale. Répartis sur l'ensemble de la surface, ils reprennent avant tout les forces verticales.

Les dalles

D'une portée de près de 20 m, les dalles devaient présenter la plus faible épaisseur possible. Le choix de l'architecte s'est porté sur une structure sandwich métallique (épaisseur de 400 mm dans un treillis d'un mètre) en raison de l'excellence de sa capacité porteuse. Cette structure est constituée de plaques et de voiles d'acier de 6 à 12 mm d'épaisseur, entre lesquels on a monté une poutraison faite de tubes de 16 à 25 mm d'épaisseur. Un béton léger (70 mm d'épaisseur) a ensuite été coulé afin de permettre la mise en place d'une connexion acier-béton. La structure sandwich métallique est divisée en trois zones qui cor-

respondent à la répartition des contraintes dans la dalle de 50 x 50 m, dépourvue de poutres mais bénéficiant de l'appui fixe des 13 tubes. Les éléments sandwich préfabriqués ont pu être facilement acheminés et soudés aux plaques sur le chantier. Une démarche quelque peu expérimentale puisqu'elle applique au bâtiment des méthodes tirées de la construction navale.

Absorption de l'énergie sismique

La spécificité de l'étude et de la conception de ce bâtiment est de pouvoir résister aux séismes grâce à une technique qui en limite les dommages. Un mécanisme d'amortissement hystérétique, absorbant l'énergie sismique, a été intégré aux fondations. Les forces sismiques qui agissent sur la structure porteuse en acier sont transmises aux fondations. La structure porteuse du rez-de-chaussée et les murs extérieurs souterrains (appuis verticaux uniquement, appuis à rouleaux pour les forces horizontales) sont, ce faisant, désolidarisés. Lors d'un tremblement de terre de forte intensité, l'énergie sismique est absorbée par la base de la structure porteuse, au premier sous-sol, ce qui réduit l'impact sur les niveaux supérieurs du bâtiment. Les pieux ductiles installés au premier sous-sol permettent ce processus; les poteaux des étages supérieurs sont, quant à eux, composés de résilles résistantes à la flexion.

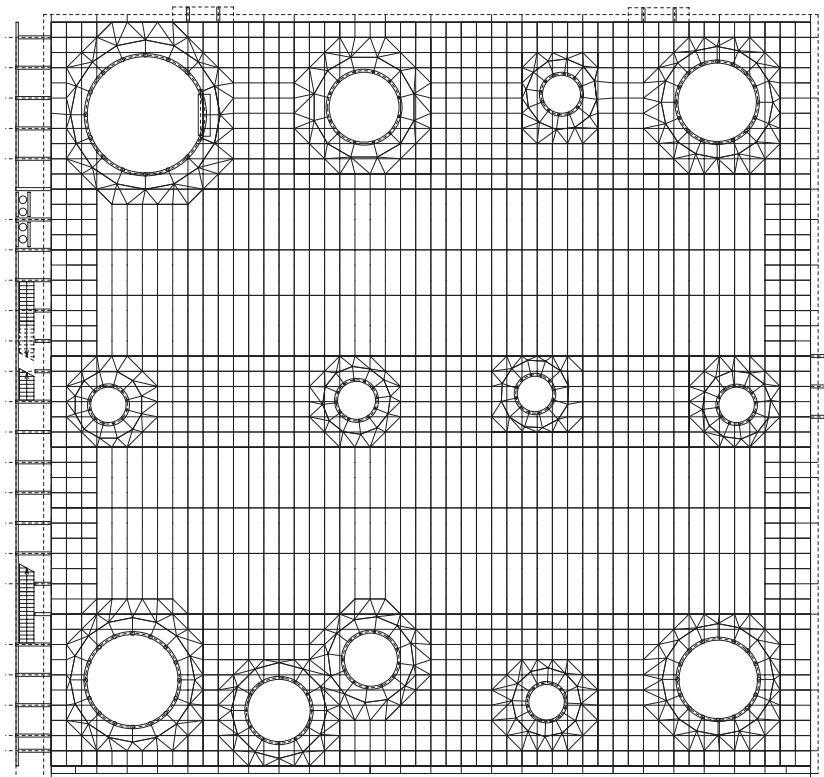
Et même si le premier sous-sol construit pour absorber la majeure partie de l'énergie sismique subissait une déformation permanente du fait d'un séisme millénaire, le niveau inférieur pourrait se déplacer horizontalement, étant donné que les poteaux se terminent par des pièces articulées en acier moulé, capables de pivoter librement. Aux points de rupture prévus, il est possible de retirer et de remplacer les poutres déformées par flambage. Ce système est



Des parties du plafond suspendu du septième étage sont tombées lors du tremblement de terre.

Détail d'un pied de poteau échelle 1:50

- 1 Acier moulé
- 2 Ressort

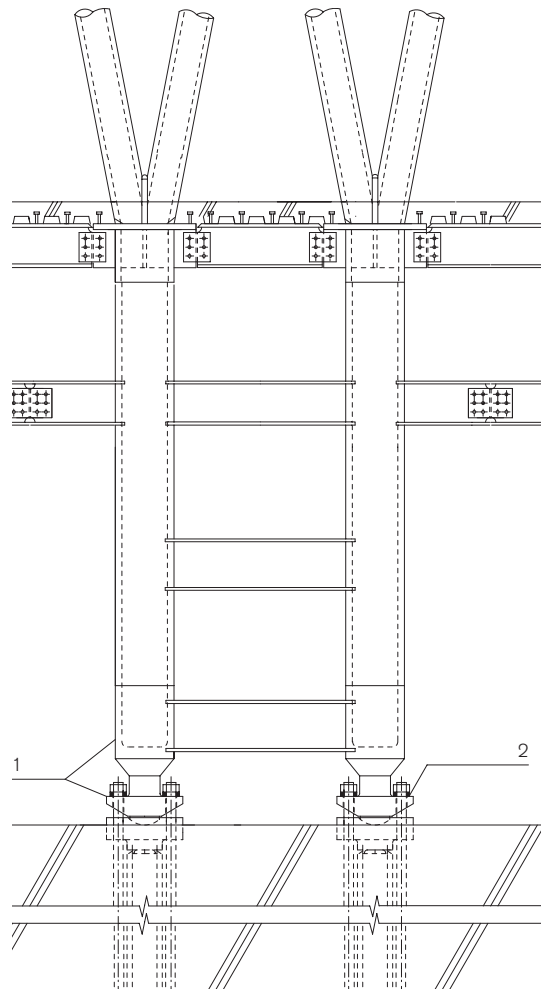


Plan échelle 1:500

*Description de la structure porteuse:
Mutsuro Sasaki, Prof. Dr. Nagoya University, Nagoya, Japon,
Structural Engineering
International 3/2002

Conséquences du séisme:
Prof. Dr. Mutsuro Sasaki,
SAPS. CO., LTD., Tokyo, Japon

Lieu Sendai, Miyagi, Japon
Maître de l'ouvrage Ville de Sendai, Miyagi, Japon
Architecte Toyo Ito and Associates, Tokyo, Japon
Ingénieur structure Sasaki Structural Consultant, Tokyo, Japon
Entrepreneur général Joint Venture of Kumagai, Takenaka, Ando and Hashimoto, Japan-Fonds
Coût de l'ouvrage 10 millions US\$
Mise en service 2001



conçu pour faciliter la réparation des dégâts au moyen d'un vérin hydraulique fixé aux murs raidis du sous-sol.

Le tremblement de terre du 11 mars 2011

Dans la zone de la médiathèque de Sendai, les mesures effectuées relèvent une accélération maximale au sol de 2 m/s². La force horizontale pour laquelle l'édifice avait été conçu n'a donc pas été dépassée. La structure primaire du bâtiment a réagi dans le domaine élastique et n'a pas été endommagée. En revanche, certains éléments non porteurs ont été détruits. Le plafond suspendu du septième étage a eu un comportement re-

marquable: il a oscillé tel un pendule et subi des vibrations de même fréquence que celles du bâtiment. La résonance a entraîné des oscillations relativement importantes et des parties du plafond sont tombées. Par conséquent on a installé des entretoises derrière les plafonds pour éviter le phénomène de résonance. Fabriqués dans un matériau plus léger, ils offrent une sécurité supplémentaire. Les autres travaux de réparation, de moindre importance, ont été effectués en collaboration avec le bureau d'architecture Toyo Ito & Associates et la ville de Sendai. La médiathèque a depuis rouvert ses portes.

Impressum

Littérature et sources suisses

SIA Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich:

Norme SIA 260 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et architectes, Zurich.

Norme SIA 260.801 (2004) EN 1998-1: Eurocode 8 – Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1, règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.

Norm SIA 261 (2003): Actions sur les structures porteuses

Norm SIA 263 (2003): Construction en acier

Cahier technique SIA 2018 (2004): Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants

Documentation SIA D 0180 (2004): Termes techniques des normes sur les structures porteuses – Terminologie et définitions

Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261

Autres:

Bachmann H. (2002): Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités. Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG

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. Dans: Documentation SIA D 0181 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses – Actions sur les structures porteuses – Introduction aux normes SIA 260 et 261. S. 59–66. SIA Zurich

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, Economie suisse du bois: Bâtiments en bois parasismiques de plusieurs étages. Documentation technique de Lignum, Zurich, 2010

Fondation pour la Dynamique des structures et le Génie Parasismique ainsi que l'Office fédéral des eaux et de la géologie OFEG (2005): Construction parasismique en Suisse – ce qui est essentiel et pourquoi. Zurich.

Service Sismologique Suisse SED (2002): Swiss Hazard Map. (<http://www.earthquake.ethz.ch>)

Office fédéral de l'environnement OFEV (2004): L'aléa sismique en Suisse, Effets géologiques locaux (microzonage). (<http://www.bafu.admin.ch>)

Autres sources voir articles/bibliographies

Impressum

steeldoc 03+04/11, parution mai 2012
Construction parasismique – Conception et dimensionnement

Editeur:
SZS Centre Suisse de la construction métallique, Zurich
Evelyn C. Frisch, Directrice

Rédaction:
Evelyn C. Frisch (responsable)
Collaboration: Ann Schumacher, Virginia Rabitsch, Sascha Roesler
Critical Review: Kerstin Pfyl-Lang Zürich; Michel Crisinel, Lausanne
en collaboration avec les auteurs

Mise en page:
Evelyn C. Frisch et Virginia Rabitsch, SZS
Plans et graphiques partiellement retravaillés par cira drei, Munich

Photos et plans:
Titre: Yves André, St-Aubin-Sauges
Editorial: Raffaele Landolfo, Naples
Interview: Photos: Katja Jug; Illustration: Tremblement de terre de Bâle: Erdbeben und Kulturgüter, p. 13;
Conception et dimensionnement:
Raffaele Landolfo, Université Federico II, Naples (aeob), sources voir article
Principe de conception: voir article
Ecole de la Maladière: Photos: Yves André, St-Aubin-Sauges p. 32, 33, 37; Ingeni SA, Genève, p. 35, plans et schémas: architectes et ingénieurs
Confortement des bâtiments existants: voir article
Bâtiment de production K90: Plans et photos mis à disposition de Gruner AG et Flubacher-Nyfelner+Partner Architekten
Construction parasismique au Japon: voir article
Médiathèque de Sendai: voir article

Conception graphique: Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zurich

Administration et abonnements: Giesshübel-Office, Zurich
Impression: Kalt-Zehnder-Druck AG, Zoug

ISSN 0255-3104

Abonnement annuel CHF 48.– / étranger CHF 60.–
Numéros isolés CHF 15.– / doubles numéros CHF 25.–
Sous réserve de changement de prix.
A commander sur www.steeldoc.ch

**Abonnement annuel à Steeldoc pour CHF 48.–
(Étudiants gratuit) sur www.steeldoc.ch**

Construire en acier / steeldoc® est la documentation d'architecture du SZS Centre suisse de la construction métallique et paraît quatre fois par an en allemand et en français. Les membres du SZS reçoivent l'abonnement ainsi que les informations techniques du SZS gratuitement.

Toute publication des ouvrages implique l'accord des architectes, le droit d'auteur des photos est réservé aux photographes. Une reproduction et la traduction même partielle de cette édition n'est autorisée qu'avec l'autorisation écrite de l'éditeur et l'indication de la source.